

UNIVERSITÉ DE NANCY

FACULTÉ DES SCIENCES

THÈSES

PRÉSENTÉES

A LA FACULTÉ DES SCIENCES DE NANCY

POUR OBTENIR

LE TITRE DE DOCTEUR DE L'UNIVERSITÉ DE NANCY
(mention Sciences)

PAR

ARON JUNGELSON

INGÉNIEUR, DIPLÔMÉ DE L'INSTITUT AGRICOLE DE L'UNIVERSITÉ DE NANCY

1^{re} THÈSE. — SUR LA RÉSISTANCE DES SEMENCES AUX SELS DE CUIVRE

2^e THÈSE. — PROPOSITIONS DONNÉES PAR LA FACULTÉ.

Soutenues le

1917 devant la commission d'examen.

MM. GAIN. Président.

MINGUIN. . . . }
BOUIN. } Examineurs.

NEMOURS

IMPRIMERIE NEMOURIENNE, HENRI BOULOY

1917

UNIVERSITÉ DE NANCY
FACULTÉ DES SCIENCES

THÈSES

PRÉSENTÉES

A LA FACULTÉ DES SCIENCES DE NANCY

POUR OBTENIR

LE TITRE DE DOCTEUR DE L'UNIVERSITÉ DE NANCY
(mention Sciences)

PAR

ARON JUNGELSON

INGÉNIEUR, DIPLÔMÉ DE L'INSTITUT AGRICOLE DE L'UNIVERSITÉ DE NANCY

1^{re} THÈSE. — SUR LA RÉSISTANCE DES SEMENCES AUX SELS DE CUIVRE

2^e THÈSE. — PROPOSITIONS DONNÉES PAR LA FACULTÉ.

Soutenues le

1917 devant la commission d'examen.



MM. GAIN. Président.
MINGUIN. } Examineurs.
BOUIN. }

NEMOURS

IMPRIMERIE NEMOURIENNE, HENRI BOULOY

—
1917

Université de Nancy

FACULTÉ DES SCIENCES

Doyen :

M. FLOQUET

Assesseur :

M. PETIT

Professeurs honoraires :

MM. HALLER, BLONDLOT, CARTAN, BLAISE, LE MONNIER.

Chargé de cours honoraire :

M. MILLOT

Professeurs :

MM. FLOQUET.....	Analyse.
PETIT.....	Chimie agricole.
VOGT.....	Mathématiques appliquées.
GUNTZ.....	Chimie minérale.
CUÉNOT.....	Zoologie.
MULLER.....	Chimie physique et électrochimie.
MINGUIN.....	Chimie.
NICKLÈS.....	Géologie.
GAIN.....	Botanique.
GUTTON.....	Physique.
ROTHÉ.....	Physique.
GRIGNARD.....	Chimie organique.
GUYOT.....	Chimie appliquée à la teinture et à l'impression.
HUSSON.....	Mécanique rationnelle.
WAHL.....	Chimie industrielle.
MAUDUIT.....	Electrotechnique.
N.....	Calcul différentiel et intégral.

Professeurs adjoints :

BOUIN.....	Zoologie appliquée.
BEAUVIERE.....	Botanique.

Chargés de cours :

HACSPILL.....	Chimie industrielle.
MAUGUIN.....	Minéralogie et cristallographie.

Le Secrétaire,
BONTEMPS

A Monsieur le Professeur EDMOND GAIN

Hommage respectueux et reconnaissant.

A la mémoire de ma mère.

A mon père.

A ma femme Vera Chalfin-Jungelson.

SUR LA RÉSISTANCE DES SEMENCES

AUX

SELS DE CUIVRE



Digitized by the Internet Archive
in 2026

SUR LA RÉSISTANCE DES SEMENCES AUX SELS DE CUIVRE

(Laboratoire de Botanique agricole de l'Université de Nancy,
dirigé par M. le Professeur Édmond Gain).

INTRODUCTION. PLAN

Parmi les substances utilisées en agriculture pour débarrasser les semences des spores des champignons parasites qui peuvent adhérer aux téguments, les plus employées sont les sels de Cuivre. Mais ces sels tout en agissant sur les spores, réagissent simultanément sur les graines porte-germes elles-mêmes, et influencent leur germination et leur développement ultérieur.

L'influence que le traitement anticryptogamique peut exercer sur les graines a fait l'objet d'un grand nombre de recherches, mais les résultats obtenus sont décousus et souvent contradictoires. De plus, on n'a opéré qu'avec des grains des céréales, qui seuls jusqu'ici ont été l'objet du traitement préventif, et on ne sait presque rien quant à l'action du Cuivre sur les graines des autres familles.

Il nous a paru intéressant de reprendre ces recherches en opérant avec des semences de familles différentes, pour considérer leur résistance spécifique, les conditions dont dépend cette résistance, celles qui l'augmentent ou qui la diminuent.

Le mode d'action d'une substance toxique ne dépend pas, en effet, uniquement de sa nature, mais aussi des propriétés du substratum sur lequel la substance réagit, de son état physique et des conditions du milieu dans lequel l'action se produit.

Nous avons ainsi à considérer deux catégories de facteurs actifs influençant la sensibilité d'une graine vis-à-vis d'une substance toxique :

1) Facteurs se rapportant à l'état de la graine et à sa nature, ou *facteurs internes* ;

2) Facteurs inhérents à la substance toxique elle-même et au milieu d'évolution de la graine, ou *facteurs externes*.

De là, une première division de notre travail : dans un premier chapitre nous envisagerons le rôle des facteurs internes ; dans un second chapitre celui des facteurs externes. Et, puisque le but que nous poursuivons est double, le travail se divise naturellement en deux parties : la première partie comprend toutes les recherches concernant l'action des sels de Cuivre sur la germination de la graine ; dans la seconde sont réunies toutes les observations relatives à l'action de ces sels sur son développement.

Nous étudions particulièrement l'influence de l'intoxication cuprique sur le Maïs en végétation et sur sa descendance.

Matériaux d'étude : graines et sels de Cuivre.

Graines. Les graines (¹) ou plus exactement les semences sur lesquelles nous avons opéré, appartiennent aux familles suivantes : *Graminées*, *Papilionacées*, *Crucifères*, *Cucurbitacées*, *Liliacées*, *Chénopodées*, *Polygonées*, *Composées*, *Solanées*, *Ombellifères*, *Papavéracées*, *Linacées*, *Urticacées*, *Malvacées* et *Nyctaginacées*.

Les semences choisies appartiennent toutes à des plantes ayant un intérêt cultural. Ce sont :

GRAMINÉES : Blé (*Triticum*) Espèces diverses.

- | | | |
|---|---|---|
| — | Avoine (<i>Avena</i>). | — |
| — | Orge (<i>Hordeum</i>). | — |
| — | Maïs (<i>Zea Maïs</i> L.). | |
| — | Seigle (<i>Secale céréale</i> L.). | |
| — | Riz (<i>Oryza sativa</i> L.). | |
| — | Fromental (<i>Avena elatior</i> L.). | |
| — | Sorgho (<i>Sorghum vulgare</i> Pers.). | |
| — | Millet (<i>Panicum miliaceum</i> L.). | |

(¹) Toutes les graines proviennent de la maison Vilmorin-Andrieux de Paris,

- POLYGONÉES : Sarrasin (*Polygonum fagopyrum* L.).
 COMPOSÉES : Soleil (*Helianthus annuus* L.).
 SOLANÉES : Tomate (*Solanum lycopersicum* L.).
 PAPA VÉRACÉES : Pavot (*Papaver somniferum* L.).
 CUCURBITACÉES : Citrouille (*Cucurbita Pepo* C.).
 LINACÉES : Lin (*Linum usitatissimum* L.).
 URTICACÉES : Chanvre (*Cannabis sativa* L.).
 CRUCIFÈRES : Cresson (*Nasturtium officinale* R. Br.).
 — Chou (*Brassica oleracea* L.).
 — Radis (*Raphanus sativus* L.).
 — Colza (*Brassica Napus* L. var. *oleifera*).
 MALVACÉES : Coton (*Gossypium* L. spec.).
 NYCTAGINACÉES : Belle de Nuit (*Mirabilis longiflora* L. Hort *alba*).
 PAPILIONACÉES : Soja (*Soja hispida* Moench.).
 — Haricot (*Phaseolus vulgaris* L.).
 — Fève de marais (*Faba vulgaris* Moench.).
 — Trèfle (*Trifolium incarnatum* L. var. *serotinum*).
 — Luzerne (*Medicago sativa* L.).
 — Sainfoin (*Onobrychis sativa* Lam.).
 OMBELIFÈRES : Carotte (*Daucus Carotta* L.).
 LILIACÉES : Poireau (*Allium Porrum* L.).
 CHÉNOPODÉES : Betterave (*Beta vulgaris* L.).

Les noms des variétés utilisées seront indiqués au cours du travail.

Sels de Cuivre. Nous avons opéré avec 5 sels de Cuivre dont 3 minéraux et 2 organiques. Ce sont :

Sulfate de Cuivre : $\text{CuSO}_4, 5\text{H}_2\text{O}$; Nitrate de Cuivre : $\text{Cu}(\text{AzO}^3)^2, 3\text{H}_2\text{O}$; Chlorure de Cuivre : $\text{CuCl}^2, 2\text{H}_2\text{O}$;

Acétate de Cuivre : $\text{Cu}(\text{C}^2\text{H}^3\text{O}^2)^2, \text{H}_2\text{O}$; Formiate de Cuivre : $\text{Cu}(\text{CHO}^3)^2, 4\text{H}_2\text{O}$.

Au début de nos recherches, nous avons opéré avec des sels trouvés dans le commerce, mais nous nous sommes bientôt aperçus que les résultats obtenus variaient dans une certaine mesure suivant que les sels ont été fournis par telle ou telle maison.

Les sels de Cuivre du commerce sont, en effet, loin de présenter une pureté chimique parfaite : le Fe, le Zn, le Mn, d'autres corps encore, y sont facilement décelables, et il se peut que ces substances étrangères, quelque minime

que soit leur quantité, influencent l'évolution de la graine soumise à leur action.

Cette constatation nous a obligé de négliger un certain nombre d'expériences déjà faites, et de recommencer les recherches avec des sels purs. Nous avons à cet effet préparé les sels nous-mêmes, en partant du *Cuivre électrolytique* et des substances chimiques parfaitement pures.

La préparation de ces sels a été faite sur l'indication de M. Minguin, Professeur à l'Institut Chimique de Nancy.

La méthode employée est trop connue, pour qu'il soit nécessaire d'en donner une description détaillée. Signalons seulement les détails suivants : le sulfate, le nitrate et le chlorure ont été obtenus en attaquant le Cuivre électrolytique par H^2SO_4 concentrée pour le sulfate, par l'eau régale pour le chlorure, par HAzO^3 étendue pour le nitrate. Quant au formiate et à l'acétate, ils ont été obtenus indirectement, en faisant macérer dans l'acide acétique et dans l'acide formique, l'hydrate bleue de Cuivre $(\text{OH})^2\text{Cu}$, obtenue par l'action de la potasse sur $\text{Cu}(\text{Azo}^3)^2$.

Les solutions ont été soumises à des cristallisations agitées et répétées plusieurs fois.

Solutions. — Avec la presque totalité des substances en notre possession, nous avons préparé pour les sels organiques des solutions à 5 % et pour les sels minéraux des solutions à 10 %, calculées en sel anhydre. En partant de ces solutions, et en y ajoutant la quantité d'eau nécessaire, nous avons préparé des solutions plus faibles jusqu'à 0,00000001 %. On évitait ainsi les erreurs de pesées.

Toutes les solutions à 5 % ont été vérifiées par l'analyse.

En ce qui concerne la bibliographie, les numéros qui suivent les noms des auteurs cités renvoient à la liste bibliographique très étendue qui fait l'objet d'une publication séparée. (Bibliographie de l'action du Cuivre sur les végétaux, par A. Jungelson, avec préface du Professeur EDMOND GAIN. *Bulletin bibliographique de Botanique agricole*, N° 1, Institut Agricole de Nancy, 1917).

PREMIÈRE PARTIE

ACTION DES SELS DE CUIVRE SUR LA GERMINATION

CHAPITRE PREMIER

§ 1. — Sensibilité comparée à l'action des sels de Cuivre des semences d'espèces différentes.

Dans une première série d'expériences, nous nous sommes proposés de rechercher comment varie la résistance à l'intoxication, suivant que la semence appartient à telle ou à telle espèce.

Les semences sur lesquelles nous avons opéré, et qui furent choisies à dessein dans des familles différentes, sont : Tomate, Soleil, Coton, Betterave ⁽¹⁾, Chanvre, Lin, Sarrasin, Carotte, Poireau, Seigle, Pavot, Citrouille, Soja, Radis.

Ces semences, vérifiées intactes et sans altérations, ont été gonflées pendant un temps variant de 15 minutes à 96 heures dans des solutions de CuSO_4 à 5 % et à 1 %, renfermées dans des cristallisoirs ou dans des tubes en verre. On s'arrangeait de manière que les semences ne se touchaient pas, pour ne pas diminuer la surface d'attaque. Chaque cristallisoir ou tube renfermait 50 semences de la même espèce, et on notait la température de la solution.

A la fin de l'opération les semences ont été lavées à l'eau froide et ont été mises à germer dans des étuves, sur un papier de germination spécial.

Le tableau I donne les résultats obtenus avec les semences qui ont séjourné dans la solution de CuSO_4 pur à 5 %. Les chiffres représentent le nombre de germinations, pour 2 lots de 50 semences.

Ce tableau montre que l'action nocive du Cuivre ne s'exerce pas avec la même intensité sur toutes les semences.

Ainsi, tandis que les semences de Radis et de *Soja hispida* sont

⁽¹⁾ Pour la betterave la semence est jugée comme germée, si même une seule germination apparaît.

déjà affectées par le séjour dans la solution toxique pendant 15 minutes, celles de Soleil, de Cotonnier, de Lin, etc., ne le sont pas encore après 3-6 heures. Après 24 heures d'intoxication, le pouvoir germinatif de la semence de Citrouille est nul, tandis qu'il est encore fort élevé, chez les semences de Tomate, de Carotte, de Betterave et d'autres.

La solution de CuSO_4 à 1 % a donné la même succession de sensibilité, et on serait tenté d'établir une échelle de sensibilité vis-à-vis du Cuivre, en prenant comme base l'espèce à laquelle la semence appartient. Mais nos expériences ultérieures démontreront qu'une telle échelle ne peut être que très relative, puisqu'il suffit de modifier les conditions de l'expérience, pour que la succession de sensibilité soit dans une certaine mesure invertie.

D'autre part, la résistance aux poisons de la semence d'une espèce considérée varie suivant ses aptitudes individuelles, son âge, sa maturité, et la race à laquelle la semence appartient est souvent un facteur aussi important à considérer que l'espèce elle-même.

Ainsi, dans les Blés, on peut trouver des races qui, par leur résistance au Cuivre, se placeront avant le Sarrasin, par exemple, et d'autres races qui sont aussi sensibles que la semence de Citrouille.

Mais ces premières expériences nous montrent déjà le rôle important des téguments extérieurs à la graine, puisque les semences qui sont des akènes ont opposé une résistance beaucoup plus grande, que les semences qui sont des graines.

§ 2. — Influence de la race ou de la variété dans la résistance de la semence au Cuivre.

Dans une seconde série d'expériences, nous nous sommes proposés de rechercher si le degré de la résistance que la semence oppose à l'intoxication est propre à l'espèce, ou si les différentes variétés qu'on peut supposer posséder une constitution tégumentaire et embryonnaire différentes, se comportent diversement vis-à-vis du même traitement appliqué dans des conditions identiques.

Nous avons, à cet effet, opéré avec différentes variétés de Blé, d'Avoine, d'Orge, de Betterave, de Haricot et de Citrouille.

La méthode opératoire est la même que précédemment, le toxique employé est le CuCl_2 à 1 %; température de la solution : 17°-20° C; température de l'étuve 25°-28° C.

Voici les résultats pour les céréales :

TABLEAU II

montrant l'influence de la race
dans la résistance de la semence vis-à-vis du Cuivre

NOM	Nombre de germinations après 25 jours :					
	DURÉE DE L'INTOXICATION					Eau dist.
	4 h.	12 h.	24 h.	48 h.	72 h.	72 h.
Blé Belotourka.....	50-50	49-50	50-50	43-44	30-29	50-49
— Petanielle de Nice.....	50-50	50-50	45-46	41-42	27-23	50-50
— de Bordeaux.....	50-49	50-50	44-48	40-42	20-20	50-50
— rouge prolifique barbu...	48-49	50-48	41-44	39-42	18-19	49-50
— Japhet.....	50-50	50-50	45-42	31-30	14-16	50-50
— de Noë.....	49-50	49-50	42-46	27-28	12-14	50-48
— de Mars rouge barbu...	50-50	50-50	40-45	28-26	10-10	50-50
— Chiddam de Mars.....	49-50	50-49	42-44	20-21	10-10	50-48
— Gros bleu.....	50-50	44-42	34-37	14-7	6-0	50-48
— de Pologne.....	50-48	45-41	36-29	10-14	0-0	50-49
Orge Albert.....	50-50	50-46	39-37	14-12	0-0	50-49
— de Moravie.....	50-48	48-47	32-30	10-10	0-0	50-49
— Chevalier race française	50-46	42-41	29-26	5-9	0-0	50-48
— Chevalier race anglaise.	50-49	40-41	30-24	2-2	1-0	50-50
Avoine noire de Belgique...	50-50	50-46	37-38	14-12	0-0	50-50
— grise de Houdan.....	50-47	49-44	31-30	5-3	0-0	50-48
— noire de Brie.....	50-50	44-45	30-26	0-1	0-0	50-49
— géante.....	46-49	42-43	26-23	0-0	0-0	50-46
— noire de Coulommiers.	47-48	40-42	24-19	0-0	0-0	50-49
— de Pologne.....	49-49	41-40	17-18	0-0	0-0	50-50

Comparons ces chiffres avec des résultats obtenus par quelques auteurs.

Voici, d'après Jaczewski (551), le pouvoir germinatif comparé des grains des céréales traités par le sulfate de Cuivre et par la bouillie bordelaise.

		CuSO ⁴ à 1/2 ‰	BOUILLIE bordeaux à 2 ‰
	TÉMOINS	16 heures	24 heures
Blé Square-head	100	68	84
Blé d'hiver	98	65	85
Blé d'été	98	63	86
Seigle de Slanstedt	99	82	88
Seigle Ivanovskaja	100	85	89
Seigle Champanskaja	100	83	89
Avoine de Suède	100	66	87
Avoine (race locale)	99	65	88
Orge (race locale)	97	63	75
Millet	100	91	94
Maïs	100	93	96

Gaillot, (d'après Hoc, 518), directeur de la Station Agronomique de l'Aisne, donne pour le pouvoir germinatif de l'Avoine et de l'Orge ayant séjourné pendant 24 heures dans la solution de CuSO⁴ à 1/2 ‰, 1 ‰, 2 ‰, 5 ‰ les chiffres suivants :

Pour l'Avoine : 45, 20, 10, 0

Pour l'Orge : 88, 64, 48, 35

Dans les expériences de Gaillot, l'Orge s'est donc montré moins sensible vis-à-vis du traitement cuprique que l'Avoine, tandis que dans celles de Jaczewski, l'Orge, l'Avoine et le Blé ont montré une sensibilité égale. Dans les recherches de Nobbe (827), l'Orge s'est montré plus sensible que le Blé et celui-ci plus que le Seigle.

Nos résultats montrent que la relation est moins étroite, et que si, en général, les Avoines sont plus sensibles vis-à-vis du traitement cuivrique que les Blés et les Orges, il y a des Blés aussi peu résistants que les Avoines, et des Avoines plus résistantes que les Orges.

La race à laquelle la semence appartient est donc un facteur important, et la résistance au Cuivre d'une race à l'autre peut varier dans des limites très étendues.

D'après Boiret (102) le Blé Golden-drop traité par le CuSO⁴ a montré un pouvoir germinatif de 78 ‰, tandis que le ‰ des grains germés pour le Blé Carter soumis au même traitement n'était que de 40 ‰. De même, dans les recherches d'Ippolito (543), le Blé de

Bordeaux s'est montré indifférent au traitement, tandis que des variétés telles que *Riédi*, *Cologna Veneta* et d'autres en étaient affectées.

On peut donc, dans ces conditions, parler des races résistantes au Cuivre et des races sensibles, et on pourrait peut-être augmenter la résistivité d'une race par un traitement approprié et appliqué à des générations successives.

Mais il est à noter que la résistance qu'une race donnée peut opposer à l'intoxication varie avec les conditions de l'expérience, et en changeant celles-ci, on peut introduire des facteurs rendant la semence plus sensible.

Ainsi, dans nos expériences, le bout de l'échelle de résistance au Cuivre est occupé par le Blé Belotourka, viennent ensuite le Pétanielle de Nice, le Blé de Bordeaux, tandis que le Japhet et le Chiddam de Mars s'approchent déjà vers l'autre bout de l'échelle. Mais au lieu d'opérer sur des *grains vérifiés intacts et sans altérations*, puisons simplement les *grains au hasard* dans l'échantillon, et soumettons-les au traitement sans aucun contrôle préalable. Nous verrons alors que le classement des différents Blés par ordre décroissant de résistance ne sera pas le même que précédemment, et au lieu d'avoir l'échelle Belotourka, Petanielle de Nice, Bordeaux, Rouge prolifique, Japhet, Noë, Mars rouge, Chiddam, nos essais ont donné : Belotourka, Pétanielle, Rouge prolifique, Noë, Bordeaux, Chiddam, Mars Rouge, etc.

Cette inversion tient à l'état du tégument de la semence et de ses tissus, puisque les blessures et les mutilations diminuent sa résistance au Cuivre à un haut degré. Or, le battage mécanique de la semence, qui est la cause principale de ces blessures et altérations, n'affecte pas à un même degré les semences de différentes races, et le traitement cuivrique qui ne nuit pas à une semence récoltée à la main, peut lui devenir très préjudiciable lorsqu'elle est récoltée par des procédés mécaniques.

Les expériences que nous avons faites avec les semences de Haricot, de Betterave et de Citrouille ont mis en évidence la même importance de la race et ont montré que la résistance au Cuivre d'une race à l'autre peut varier du simple au double et même au triple. Il est certain, qu'on ne trouvera jamais une race de Haricot aussi résistante au traitement cuivrique que les Blés ou les Bette-

raves, mais un choix judicieux peut atténuer la différence dans une large mesure.

Il était naturel de se demander à quoi est due la résistance plus ou moins grande qu'opposent au traitement les semences de races différentes.

Nous avons, à cet effet, opéré avec des variétés dont on a pu supposer la composition chimique différente, et dont les semences ont été préalablement débarrassées de leurs enveloppes externes, pour éliminer des influences accessoires.

Il résulte de ces recherches qu'il ne semble pas exister une relation entre la composition chimique de la semence et sa résistance au Cuivre, et que cette dernière ne dépend que de la structure tégumentaire et de l'agencement réciproque des tissus et du tégument.

Ainsi, le Blé Belotourka et le Blé de Pologne qui occupent les extrémités inverses de l'échelle de résistance au Cuivre se comportent de la même manière dès qu'ils sont débarrassés de leur péricarpe, et les Blés tendres se montrent aussi résistants que les blés durs. Il en est de même avec les autres semences sur lesquelles nous avons opéré. Les semences de Betteraves de distillerie, à sucre ou fourragères, des Maïs sucrés ou riches en matières grasses ou protéiques, ne montrent plus une résistance spécifique, et toutes les races deviennent également sensibles dès que le rôle des téguments est éliminé.

Ce fait semble un peu étrange, puisque le pouvoir absorbant des matières amylacées est inférieur à celui des matières protéiques, et on aurait pu s'attendre à une plus grande sensibilité pour les races riches en substances azotées, par suite d'une plus grande absorption de la substance nuisible.

Dans son travail sur la nutrition carbonée des plantes vertes, Laurent ⁽¹⁾ écrit : « pour une même espèce le sublimé tue d'autant plus rapidement la graine qu'elle est de plus petite taille, et par conséquent de plus petit poids. Pour les espèces différentes l'action dépend à la fois des dimensions de la graine et de la perméabilité des téguments. »

(1) *Revue générale de Botanique*, T. XVI, 1904.

Nous avons recherché si cette relation entre le poids de la semence et sa sensibilité vis-à-vis du sublimé, existe aussi pour les sels de Cuivre, mais nous n'en avons trouvé aucune ; la taille et le poids de la semence n'influencent pas sa sensibilité vis-à-vis d'un toxique, celle-ci étant la résultante des facteurs d'une toute autre nature. Cette relation n'existe pas ni pour les semences de races différentes, ni même pour celles de la même race. Citons, comme exemple, les semences de *Cucurbita Pepo* parmi lesquelles on trouve des graines dont le poids et la taille varient du simple au triple et, cependant, le pouvoir germinatif de grosses graines traitées au Cuivre n'est nullement supérieur à celui de graines de plus petite taille traitées identiquement.

Dans la résistance comparée qu'opposent au Cuivre les semences d'espèces différentes, les facteurs « poids » et « taille » ne jouent pas non plus de rôle, au moins en ce qui concerne les semences sur lesquelles nous avons opéré.

Ainsi, (tableau I), les semences minuscules de *Papaver somniferum* se sont montrées beaucoup plus résistantes que celles de *Soja* ou de Citrouille et les semences de Poireau ou de Tomate moins que celles de Cotonnier ou de Soleil.

Il n'y a pas non plus un rapport entre la sensibilité de la semence vis-à-vis du Cuivre et sa densité et teneur en eau, ni pour les semences d'espèces et de races différentes, ni pour celles d'une race unique.

Il existe, au contraire, une certaine relation entre la sensibilité de la semence vis-à-vis du Cuivre et la rapidité avec laquelle elle germe et nous l'avons mis en évidence pour les différents Blés et Avoines, mais non pas pour des Orges et des Haricots chez lesquelles cette relation est beaucoup moins étroite.

Nous avons ensemencé le 29 juin au matin des Blés et des Avoines après les avoir fait gonfler dans le CuSO_4 à 2 % pendant 76 heures pour les Blés et pendant 30 heures pour les Avoines. En même temps ont été ensemencés des Blés et des Avoines ayant séjourné pendant 76 h. et 30 h. dans de l'eau distillée.

Le tableau III montre la relation entre la puissance germinative des graines non traitées, et le pouvoir germinatif des grains soumis au traitement cuivrique. L'expérience a porté sur 50 graines pour chacune des variétés.

TABLEAU III

Relation entre la puissance germinative des grains gonflés dans l'eau distillée et leur sensibilité vis-à-vis du Cuivre. Température des solutions : 14°-18° C. ; température de l'étuve : 24°-26° C.

NOM :	EAU DISTILLÉE							CuSo ⁴ à 2‰
	NOMBRE DE GERMINATIONS :							
	30 Juin	1 ^{er} Juillet	3 Juillet	5 Juillet	10 Juillet	15 Juillet	29 Juillet	29 Juillet
Blé Belotourka.....	12	30	39	50	50	50	50	22
— Pétanielle de Nice...	12	28	36	50	50	50	50	20
— de Bordeaux.....	10	28	35	49	50	50	50	16
— Rouge prolifique....	11	23	30	49	49	49	49	14
— Japhet.....	7	20	50	50	50	50	50	8
— de Noë.....	7	20	45	46	50	50	50	8
— de Mars rouge barbu.	5	19	32	49	49	49	49	5
— Chiddam de Mars...	10	24	40	48	50	50	50	0
— Gros Bleu.....	5	15	31	49	50	50	50	0
— de Pologne.....	0	17	30	49	49	49	49	0
Avoine noire de Belgique.	0	6	19	29	50	50	50	22
— grise de Houdan.	0	6	11	26	50	50	50	20
— noire de Brie....	0	3	14	28	49	49	49	14
— géante.....	0	0	12	25	50	50	50	9
— noire de Coulommiers...	0	0	11	23	49	50	50	4

Nous constatons donc à l'examen de ce tableau que les grains qui ont levé le plus vite, sont aussi ceux qui résistent le plus à l'intoxication, sauf les grains de Blé Chiddam de Mars qui, quoi qu'occupant la 8^{me} place au point de vue de leur résistance au Cuivre, ont germé aussi vite que la Belotourka et le Pétanielle de Nice qui viennent en tête.

En résumé, la sensibilité de la semence d'une race donnée vis-à-vis du Cuivre semble être indépendante de sa composition chimique, de ses poids et taille, de la densité et teneur en eau.

Nous allons à présent passer en revue les facteurs dont cette sensibilité dépend directement.

§ 3. — Sur l'influence des enveloppes protectrices, glumes et péricarpes, dans la résistance de la semence vis-à-vis du Cuivre.

A priori, on aurait pu supposer que les enveloppes extérieures, telles que les glumes et glumelles (balles) des Avoines, des Orges ou des Blés vêtus, ou les péricarpes des semences-fruits, protègent la graine contre les influences nuisibles, et que les semences qui sont pourvues de telles enveloppes sont favorisées, par rapport aux autres qui n'en possèdent pas. Nos expériences vont nous montrer que loin d'assurer à la semence une protection contre l'action du Cuivre et de leur conférer une résistance naturelle, *ces enveloppes, balles et péricarpes augmentent, au contraire, leur sensibilité à un haut degré.*

Pour élucider l'influence des enveloppes extérieures, nous avons fait gonfler dans une solution de CuCl_2 à 2 % pendant 24 h.-48 h. d'une part, des semences telles quelles et vérifiées intactes, d'autre part, des semences privées de balles ou d'enveloppes. L'expérience a porté sur 50 semences pour chaque catégorie.

TABLEAU IV

montrant l'influence des balles et des péricarpes dans la résistance de la semence à l'action du Cuivre.

NOM :	CuCl ² à 2‰(24h.)			CuCl ² à 2‰(48h.)			EAU DIST. 48 h.
	NOMBRE DE GERMINATIONS APRÈS :						
	2 jours	7 jours	27 jours	2 jours	7 jours	27 jours	27 jours
Avoine géante avec balles.....	0	11	19	0	2	3	12
— sans balles.....	3	29	42	2	22	30	40
Avoine grise de Houdan avec balles..	0	13	21	0	6	6	46
— sans balles..	4	30	42	1	26	31	46
Blé Amidonnier avec balles.....	0	4	11	0	4	7	49
— sans balles.....	12	34	43	9	22	37	50
Riz d'Égypte avec balles.....	0	11	39	0	9	38	48
— sans balles.....	6	39	49	3	31	50	47
<i>Holcus sorghum</i> avec balles.....	7	18	26	7	20	23	49
— sans balles.....	9	17	33	8	29	30	48
Soleil de Russie, Akène.....	13	33	37	6	27	28	50
— Graine.....	24	37	40	11	29	41	50
<i>Mirabilis longiflora</i> , Akène.....	0	0	19	0	0	14	50
— graine.....	6	12	31	2	7	22	50
Sainfoin, Gousse.....	0	16	30	0	9	30	47
— Graine.....	0	21	44	0	14	29	45
Citrouille avec tégum. extérieur....	0	9	10	0	0	6	47
— sans tégum. extérieur....	0	22	41	0	9	27	46

On voit donc que les balles et les péricarpes ou les téguments adéquats, comme chez la semence de la Citrouille, par exemple, augmentent la sensibilité de la graine vis-à-vis d'un agent toxique dans une large mesure, et agissent à la fois sur la puissance et le pouvoir germinatifs. Leur influence nuisible est surtout importante chez les Avoines, les Blés vêtus, la Belle de Nuit et la Citrouille, chez lesquels la présence des enveloppes extérieures à la graine, a déterminé une diminution du nombre de semences germées de 2 à 10 fois.

La différence est encore plus frappante si on considère l'état de développement de ces semences. Ainsi, 15 jours après l'ensemencement, la hauteur moyenne de la tigelle chez le Blé avec balles n'était que de 2 à 3 cm. tandis qu'elle était de 11 cm. à 12 cm. chez le Blé sans balles et ayant subi un traitement identique. La même différence de développement ont montré aussi les semences des Avoines, du Soleil, du Mirabilis, du Sainfoin et de la Citrouille.

Pour certaines raisons, nous ne donnons pas ici les chiffres exprimant les dimensions comparées des plantules issues des semences traitées sans ou avec enveloppés, nous nous bornons à montrer quelques dessins représentant les plantules de Soleil et de Citrouille âgées de 10 jours et provenant les unes d'un akène et d'une graine (Fig. 1 et 2), les autres d'une semence entière et d'une semence



Fig. 1. — Plantule de Soleil âgée de 10 jours, issue d'un akène gonflé pendant 24 heures dans une solution de CuCl_2 à 2 %.

Fig. 2. — Plantule de Soleil âgée de 10 jours, issue d'une graine gonflée pendant 24 h. dans une solution de CuCl_2 à 2 %.

Fig. 3. — Plantule de Soleil âgée de 10 jours, issue d'un akène gonflé pendant 24 heures dans de l'eau distillée.

dépourvue du tégument extérieur (Fig. 5, 6). Nous mettons aussi à côté des plantules issues des semences traitées par le CuCl_2 , des plantules issues des semences gonflées pendant le même temps dans



Fig. 4. — Plantule de Soleil âgée de 10 jours, issue d'une graine gonflée pendant 24 heures, dans de l'eau distillée.



Fig. 5. — Plantule de Citrouille âgée de 10 j., issue d'une graine entière gonflée pendant 6 heures dans une sol. de CuCl_2 à 2 ‰.

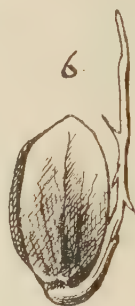


Fig. 6. — Plantule de Citrouille âgée de 10 j., issue d'une graine sans tégument extérieur gonflée pendant 6 heures dans une solution de CuCl_2 à 2 ‰.

l'eau distillée, pour montrer que le retard dans l'évolution de la plantule est dû à l'action du Cuivre et non pas à la présence du tégument (Fig. 3, 4, 7, 8).



Fig. 7. — Plantule de Citrouille âgée de 10 jours, issue d'une graine entière gonflée pendant 6 heures dans de l'eau distillée.



Fig. 8. — Plantule de Citrouille âgée de 10 jours, issue d'une graine sans tégument extérieur gonflée pendant 6 heures dans de l'eau distillée.

Voici, d'autre part, les résultats qui montrent l'influence du péricarpe sur la germination des grains des céréales traités par le Cuivre. Ces grains ont été préalablement gonflés pendant 15 heures dans de l'eau distillée, à la température de 15°-18° C, et n'ont été mis dans la solution cuivrique qu'après un dessèchement de 2-3 heures sur du papier-filtre. Cette opération préalable, nécessaire pour enlever les péricarpes sans blesser la graine, augmente sa sensibilité vis-à-vis du Cuivre, et les résultats ne sont que comparatifs. On a opéré sur 50 grains. Temp. de l'étuve : 28°-29° C.

TABLEAU V
montrant l'influence des péricarpes dans la résistance
des grains des céréales à l'action du Cuivre.

NOM :	Cu(Azo ³) ² à 1°/o (24h.)			Cu(Azo ³) ² à 1°/o (48h.)		
	NOMBRE DE GERMINATIONS APRÈS :					
	2 jours	6 jours	26 jours	2 jours	6 jours	26 jours
Blé Belotourka, caryopse.....	2	11	36	0	9	29
— graine.....	4	19	39	1	13	33
— Japhet, caryopse.....	3	14	35	1	10	30
— graine.....	5	15	38	4	12	32
— Chiddam de Mars, caryopse ..	2	10	33	2	9	20
— graine.....	2	16	35	3	12	31
— Petanielle, caryopse.....	1	14	37	0	14	29
— graine.....	4	17	38	0	14	31
— Gros bleu, caryopse	3	16	31	0	12	13
— graine.....	4	19	33	1	13	34
Avoine de Pologne, caryopse.....	0	7	14	0	2	3
— graine.....	0	14	29	0	9	27
— Noire de Belgique, caryopse..	0	9	30	0	4	6
— graine.....	0	15	34	1	7	29
— Noire de Coulommiers, caryopse.	0	6	21	0	5	3
— graine.....	0	13	29	0	11	30
Maïs King Philip blanc, caryopse ...	0	14	43	0	11	42
— graine.....	0	17	47	0	14	45
— Jaune hâtif d'Auxonne, caryopse.	0	13	44	0	11	40
— graine...	0	18	45	0	14	40
Orge précoce de Laponie, caryopse..	0	15	30	0	11	28
— graine.....	1	17	32	0	12	29
— Albert, caryopse.....	0	14	23	0	9	19
— graine.....	0	16	37	0	12	31
Seigle de Slanstedt, caryopse.....	2	17	39	0	14	34
— graine.....	3	19	39	0	17	36

Ces dernières expériences nous montrent tout d'abord que les péricarpes des semences des Graminées ne leur assurent pas non plus une protection contre l'action du Cuivre, et leur est même nuisible quoiqu'à un degré moindre, que les péricarpes et les balles des semences qui ont été envisagées antérieurement.

Les Figures 9, 10 et 11, représentent des plantules d'Avoine, issues respectivement d'un grain revêtu de ses balles, d'un grain



Fig. 9. — Plantule d'Avoine âgée de 8 jours, issue d'un grain revêtu gonflé pendant 20 h. dans une solution de CuSO_4 à 1 %.



Fig. 10. — Plantule d'Avoine âgée de 8 jours, issue d'un grain sans balles gonflé pendant 20 heures dans une sol. de CuSO_4 à 1 %.



Fig. 11. — Plantule d'Avoine âgée de 8 jours issue d'un grain sans balles et sans péricarpe gonflé pendant 20 heures dans une solution de CuSO_4 à 1 %.

sans balles et d'un grain sans balles et sans péricarpe, tous ces grains ayant été soumis au même traitement cuprique.

Mais il y a aussi des exceptions, où le péricarpe protège réellement la graine. C'est le cas, notamment, de la semence de Chanvre, chez laquelle le tégument séminal proprement dit adhère fortement au péricarpe et est souvent discontinu, de sorte que le Cuivre qui se concentre dans l'enveloppe extérieure, passe directement dans les tissus de l'embryon, qui par lui-même, comme nous le verrons, oppose au traitement cuivrique une résistance très faible.

Ces expériences nous montrent encore que la sensibilité plus ou moins grande que les différents Blés, Avoines, ou Orges manifestent vis-à-vis du Cuivre n'est pas propre à la graine elle-même, mais est due à la nature de leurs enveloppes, puisque les graines nues se comportent toutes d'une manière identique.

Le même rôle des enveloppes extérieures se manifeste encore quand on envisage non pas les semences de races différentes, mais

d'espèces différentes et rapprochées, la graine extégumentée de l'Avoine se montrant à peu près aussi résistante que celles du Blé, de l'Orge et du Seigle.

Nous nous sommes demandés ce que sont devenues les graines dont la germination a été empêchée par la présence des enveloppes.

Pour répondre à cette question, nous avons divisé en deux lots les semences qui n'ont pas germé, après un séjour de 28 jours dans l'étuve. L'un des lots a été laissé tel quel, l'autre a été débarrassé des péricarpes (Blé), des balles et péricarpes (Avoine) ou du tégument extérieur (Citrouille). Les 2 lots furent alors remis dans l'étuve. Pour chaque catégorie on a opéré sur 16 semences.

Onze jours après, nous avons constaté les résultats suivants : dans le lot des semences qui a été laissé tel quel, il n'y avait aucune germination, tandis que parmi les semences débarrassées de leurs enveloppes quelques-unes ont commencé à se développer et notamment 4 Blés, 3 Avoines et 5 Citrouilles, toutes les autres ayant pourri.

Le fait que les téguments qui assurent naturellement une protection à la semence contre l'action des agents atmosphériques ou des facteurs de destruction, ne les protègent pas contre des influences chimiques, est intéressant à constater. Déjà, Alphonse de Candolle ⁽¹⁾ a remarqué que malgré que les grains des Composées soient recouverts par un calice et péricarpe et devraient se conserver mieux que les autres, perdent, au contraire, au plus haut degré leurs propriétés vitales.

Il est possible que ce fait puisse jeter un peu de lumière sur quelques questions intéressantes de la physiologie végétale, et notamment en ce qui concerne la longévité des graines, problème, comme on le sait, très discuté. Une semence enfouie dans le sol pendant de longues années, et dans des conditions qui ne se prêtent pas à la germination, a bien pu fixer par ses enveloppes extérieures des substances aussi nuisibles que le Cuivre, et peut par conséquent ne pas germer tant que ces enveloppes ne lui soient pas enlevées.

Comment expliquer cette action nuisible des enveloppes ?

(1) Sur la durée relative de la faculté de germer (*Annales Sc. Naturelles*, Série III, T. VI, 1876).

Dans un travail qui nous est tombé sous les yeux postérieurement à nos expériences, et qui est dû à Ferdinand Porchet (925), on trouve déjà des recherches faites, en vue d'expliquer l'action nocive des balles d'Avoine sur la germination de la graine sulfatée, recherches qui confirment les nôtres.

L'auteur a fait gonfler dans le CuSO_4 à 0,5 % pendant 60 heures des Avoines sans enveloppes et avec enveloppes. Il a constaté que les premières absorbent plus de liquide et par conséquent plus de métal que les secondes. Ainsi, les Avoines sans balles ont absorbé 1^{er}, 270 du liquide, les Avoines avec les balles en ont absorbé 1^{er}, 583. Cela nous explique déjà un peu l'augmentation de la sensibilité vis-à-vis du traitement cuivrique des semences vêtues.

Mais le métal absorbé se localise-t-il dans les enveloppes, ou passe-t-il et se fixe-t-il dans les tissus vivants de la semence ? ⁽¹⁾

Nous avons à cet effet examiné au microscope, et dans une goutte de ferrocyanure de potassium, ou de réactif bromhydrique de Dénigés, des coupes pratiquées dans les diverses régions de la semence sulfatée (Blé, Orge, Avoine, Soleil, Citrouille). Il résulte de ces observations que les réactifs employés ne décèlent la présence du Cuivre que dans les balles et les péricarpes, mais ne donnent pas de réaction dans le tissu même. Les enveloppes jouent donc le rôle d'un filtre, arrêtant et se gorgeant du métal.

Il est aussi possible que le Cuivre passe dans l'endosperme et dans l'embryon, et s'y engage dans des combinaisons complexes non décelables par les réactifs chimiques ordinaires, mais ces quantités ne doivent pas être grandes, puisqu'il suffit de faire absorber le métal par une graine blessée, pour que celui-ci devienne décelable.

En ce qui concerne les grains des céréales, la non pénétration du Cuivre dans le tissu vivant, et sa localisation dans le péricarpe, est confirmée par les recherches de Brown.

Cet auteur a pu montrer que les grains de l'Orge, du Seigle, de l'Avoine et du Froment étaient pourvus d'une membrane semiperméable permettant le passage de l'eau, ainsi que de la solution iodurée de iode dans l'intérieur du grain, mais qui empêche l'intro-

(1) La fixation possible du Cuivre par les parties vivantes de la cellule a été démontrée par de nombreux auteurs. Citons, entre autres, DEVAUX (*C. R. Ac. Sc.*, T. CXXXII, 1901).

duction de H_2SO_4 , de HCl , ainsi que des sels en solution aqueuse : sulfate de Cuivre, sulfate ferreux, nitrate d'Argent, bichromate de Potasse. Ces diverses substances n'ont pu forcer l'entrée, alors même que les graines ont séjourné dans des solutions à 5 % pendant 3 jours.

Théodore Valetton ⁽¹⁾ a reconnu l'existence d'une pareille membrane dans le Riz.

D'autre part, Kühn (630) a montré que les grains du Blé soumis au traitement par le sulfate de Cuivre et mis à germer entre papier-filtre donnent naissance à des plantules dont le développement est plus normal, si celui-ci a lieu sur les bords des feuilles de papier et non pas au milieu.

L'auteur l'explique en admettant que les grains cèdent au papier une certaine quantité de Cuivre ; la racicule sortant, elle rencontre ce Cuivre qui arrête son développement, tandis que sur les bords la racicule sort vers l'extérieur et se trouve ainsi hors du métal.

Une opinion identique sur la nécessité pour la racicule de se trouver hors de la portée du Cuivre a été après formulée par E. Demoussy (270).

Or, les balles de l'Avoine, de l'Orge ou du Blé Amidonnier jouent ici le même rôle que le papier-filtre : gorgées de Cuivre, elles arrêtent et entravent le développement de la racicule, et non seulement par des actions chimiques, mais aussi par une action mécanique, corrodante.

Il se passe ici le même phénomène, qui a lieu chez les spores des champignons parasites.

Ainsi, Cornu ⁽²⁾ a montré déjà en 1886 que le Cuivre est absorbé surtout par la cuticule, qu'il y est énergiquement retenu et s'oppose de cette manière à l'accroissement des tubes germés des spores de *Peronospora* au moment où elles percent la cuticule.

Hecke (496) a mis en évidence le même phénomène chez les spores des *Ustilaginées*.

(1) Cité par H. MICHEELS. Action des solutions aqueuses d'électrolytes sur la germination (*Ac. Roy. de Belgique, Classe des Sciences*, 1909, p. 1076).

(2) *Bull. Société nationale d'Agriculture*, Séance du 22 mars 1886. Cité par MILLARDET et GAYON, (*C. R. Ac. Sc.*, T. CIV, p. 342).

Or, on sait l'extrême sensibilité des racines de Phanérogames vis-à-vis du Cuivre. Cette sensibilité, pour les plantules du Blé, est telle qu'elles restent courtes dans de l'eau distillée de commerce préparée dans un alambic de Cuivre (Dehérain et Demoussy (270), Coupin (240); les plantules de *Pisum* souffrent encore dans une solution de CuSO_4 à 0,000000429 ‰ (Kanda, 595).

On voit, dans ces conditions, que la présence des glumelles et péricarpes, véritables réservoirs de Cuivre que la radicule doit traverser, ne peut être à celle-ci que néfaste.

Les grains des céréales, dépourvus de balles et recouverts seulement d'un péricarpe, sont moins sensibles vis-à-vis du traitement cuivrique que ceux qui possèdent à la fois balles et péricarpes, puisque leurs radicules, pour apparaître à l'extérieur, ont un chemin plus court à parcourir et moins riche en Cuivre.

C'est là une des causes de la non germination des semences protégées, et nous verrons dans la suite qu'il y en a d'autres.

Nous nous sommes aussi demandés si la résistance plus ou moins grande qu'opposent au traitement cuivrique les différents Blés est en rapport avec leur pouvoir absorbant et, par conséquent, avec la quantité du métal fixé.

Nous avons, à cet effet, fait gonfler des caryopses entiers, d'une part dans de l'eau distillée, d'autre part dans une solution d'acétate de Cuivre à 1 ‰. Voici l'absorption en ‰ qu'ont présenté les caryopses après 27 heures de gonflement.

TABLEAU VI

montrant la quantité du liquide absorbé par des différents Blés.

NOM :	H ² O DISTILLÉE		Cu (C ² H ³ O ²) ² à 1‰	
	Poids initial	Absorption ‰	Poids initial	Absorption ‰
<i>Blé de mars rouge barbu :</i>				
1 ^{er} lot de 20 caryopses	0 ^{gr} , 6780	30, 0	0 ^{gr} , 6772	27, 4
2 ^e —	0, 6372	29, 6	0, 6773	28, 2
3 ^e —	0, 6591	30, 1	0, 6712	27, 1
<i>Blé Japhet :</i>				
1 ^{er} lot de 20 caryopses.	1, 1197	29, 7	1, 1221	27, 6
2 ^e —	1, 1211	30, 4	1, 1014	28, 3
3 ^e —	1, 1099	30, 1	1, 1311	27, 4
<i>Blé Pétanielle noir :</i>				
1 ^{er} lot de 20 caryopses.	1, 1572	30, 4	1, 1571	28, 2
2 ^e —	1, 1481	30, 7	1, 1462	29, 1
3 ^e —	1, 1510	29, 9	1, 1479	27, 8
<i>Blé Chiddam de Mars :</i>				
1 ^{er} lot de 20 caryopses.	0, 7271	29, 6	0, 7243	27, 7
2 ^e —	0, 7411	29, 9	0, 7406	28, 3
3 ^e —	0, 7384	30, 4	0, 7414	28, 2
<i>Blé rouge prolifique :</i>				
1 ^{er} lot de 20 caryopses.	1, 1600	28, 9	1, 1519	28, 6
2 ^e —	1, 1341	29, 8	1, 1417	28, 0
3 ^e —	1, 1444	29, 7	1, 1483	27, 3

D'après ce tableau, on ne voit pas de relation entre le pouvoir absorbant du caryopse et sa sensibilité vis-à-vis du Cuivre. Ainsi, le Blé de Chiddam, plus sensible au traitement cuivrique que le Blé Pétanielle, a absorbé même moins de liquide que ce dernier.

Nous avons répété ces expériences, en opérant avec les péri-carpes seuls. Ceux-ci, après avoir été desséchés dans l'étuve à 105° jusqu'à poids constant, ont été mis à gonfler dans des liquides dans les mêmes conditions que précédemment. Les résultats obtenus sont les mêmes qu'avec les caryopses entiers, on ne trouve pas de relation entre la quantité de l'eau ou de la solution toxique que les péri-carpes ont absorbé et la sensibilité que la graine a montré au traitement.

Il est possible que la sensibilité d'un grain de Blé vis-à-vis du

Cuivre, tout en dépendant de la nature de ses enveloppes, peut être en relation non seulement avec la perméabilité de ces dernières, mais aussi avec leur structure anatomique, puisque d'elle doit dépendre la localisation du Cuivre.

§ 4. — Sur la sensibilité des embryons vis-à-vis des sels de Cuivre et sur le rôle des téguments séminaux.

Dans la sensibilité que la graine montre au Cuivre, quel est le rôle de l'embryon ?

Il faut mentionner de suite que cette étude présente une difficulté, et que les chiffres que nous allons donner ne sont que très relatifs.

Cette difficulté est provoquée par l'action des moisissures, dont le développement est étrangement facilité par le traitement cuivrique de la graine.

Les embryons, affaiblis par la présence du Cuivre dans leurs tissus, ne résistent pas à l'action de ces agents destructeurs, et deviennent leur proie d'autant plus facilement que leur intoxication a été poussée plus loin. Des graines de Soja, de Haricot, de Fève, de Radis sont plus sensibles à cette action que les autres, et commencent à la longue d'être attaquées, si même elles n'ont pas été traitées par le Cuivre, mais simplement débarrassées de leur testa qui leur assure contre l'attaque des moisissures une protection efficace ⁽¹⁾.

Pour atténuer autant que possible l'intervention des moisissures, nous changions fréquemment le papier sur lequel germaient les plantules et nettoyions les grains à l'aide du coton mouillé. Pendant l'été nous faisons nos cultures non seulement dans l'étuve, mais aussi en plein laboratoire, ce qui diminue notablement le pullulement des moisissures, grâce à l'action fongicide de la lumière.

I. EMBRYONS DES GRAINES EXALBUMINÉES. — Nous avons opéré avec les graines de Soja, Haricot, Fève, Lin, Citrouille, Radis, Colza, Cresson. Toutes ces graines ont été préalablement gonflées dans de l'eau de 12 à 15 heures, pour faciliter l'enlèvement des téguments.

⁽¹⁾ G. PISSON. Du rôle du testa dans la germination. (*Annales de l'Institut Nat. Agronomique*, N° 2, 1877-1878).

Embryon de Radis rouge écarlate hâtif. (Temp. de l'étuve 29° à 30° C). — Ces embryons sont d'une sensibilité extrême vis-à-vis du Cuivre. Un séjour de 1 seconde dans les solutions de CuSO_4 à 10 ‰ — 5 ‰ — 2 ‰ — 1 ‰ influence déjà leur développement : la racine est plus courte, les poils absorbants moins abondants et les cotylédons noircissent. Le même effet est provoqué par le séjour de 5 secondes dans la solution de 0,1 ‰ et de 10 secondes dans celle de 0,01 ‰.

Le pouvoir germinatif commence déjà à baisser après un séjour de l'embryon dans une solution à 10 ‰ pendant 5 secondes, dans celle de 2 ‰ pendant 30 secondes et dans celle de 0,1 ‰ pendant 10 minutes.

Sur 20 embryons mis à germer, aucun n'a germé après avoir séjourné pendant 30 secondes dans la solution à 10 ‰, pendant 50 secondes dans la solution de 5 ‰, pendant 10 minutes dans la solution à 1 ‰ et pendant 25 minutes dans celle de 0,1 ‰.

Voici un extrait de notre cahier d'expériences : Ont été mis à germer des embryons de Radis, après un séjour dans CuSO_4 à 2 ‰ pendant 5 minutes (N° 12), pendant 3 minutes (N° 13), pendant 1 minute (N° 14), pendant 30 secondes (N° 15), pendant 15 secondes (N° 16), pendant 5 secondes (N° 17), pendant 1 seconde (N° 18), témoins (N° 19). On a opéré sur 20 embryons.

24 heures après : N° 12, pas de germinations, N°s 13-14-15, idem, N° 16, une seule germination, N° 17, idem, N° 18, deux germinations, N° 19, vingt germinations.

48 heures après : N°s 12-13, pas de germinations, N°s 14-15, 4 germinations, N°s 16-17, 12 germinations, N°s 18, 13 germinations, N°s 19, 20 germinations, toutes possédant des poils absorbants abondants.

72 heures après : Les cotylédons des plantules issues des embryons non traités, commencent à se développer, la racine atteint 5 cm. à 8 cm. et est abondamment pourvu de poils absorbants. Peu de poils absorbants chez les autres plantules et la racine ne dépasse pas 2 cm. Aucun des embryons qui a séjourné dans la solution cuprique pendant 3 à 5 minutes n'a pas encore levé, et les embryons commencent à être attaqués par les moisissures. Leurs cotylédons sont tout noirs.

Embryon de Soja hispida à graines jaunes. (Temp. de l'étuve 31°-33° C). — L'embryon de Soja est aussi peu résistant à l'action du Cuivre que celui de Radis, et résiste encore moins à l'attaque des moisissures.

Voici un tableau qui résume les résultats :

- A. Temps au-dessus duquel la germination n'a plus lieu ;
 B. Temps à partir duquel le pouvoir germinatif commence à baisser ;
 C. Temps à partir duquel on peut déjà constater un retard dans le développement ;

$\text{Cu}(\text{AzO}^3)^2$	A	B	C	
10 %	3 min.	25 sec.	1 sec.	La puissance germinative et
5 %	5 "	3 min.	1 "	l'énergie d'évolution sont affectées
2 %	10 "	8 "	1 "	par le traitement cuivrique
1 %	15 "	10 "	1 "	à un haut degré. La longueur de
0,1 %	35 "	25 "	15 "	l'axe hypocotylé d'une plantule

issue d'un embryon qui n'a séjourné dans la solution de 0,1 % que pendant 5 minutes, est la moitié de l'axe d'une plantule issue d'un témoin.

Comme caractères spécifiques provoqués par le Cuivre il y a à noter les faits suivants :

Les cotylédons ont une coloration foncée ; l'axe hypocotylé, au lieu de s'allonger, s'enroule sur plusieurs tours ; le système pilifère est peu développé, et les racines secondaires qui commencent à se développer sur la racine principale de la plantule saine dès le second jour, apparaissent sur les plantules intoxiquées avec un retard plus ou moins accentué, suivant le degré de l'intoxication subie.

Embryon de Citrouille de Touraine. (Temp. de l'étuve, 34°-36° C.). Embryon plus résistant que les 2 précédents.

$\text{Cu}(\text{AzO}^3)^2$	A	B	C	
10 %	12 min.	4 min.	5 sec.	Caractères spécifiques
5 %	15 "	10 "	5 "	provoqués par l'intoxi-
2 %	30 "	15 "	5 "	cation : coloration foncée
1 %	50 "	30 "	15 "	des cotylédons ; la jeune
0,1 %	2 heures	1 heure	15 min.	radicule, dès qu'elle com-
0,01 %	12 "	3 "	30 "	mence à se développer,

présente sur sa surface des échancrures transversales et symétriques, lui communiquant l'aspect d'une vis ; de plus, la radicule se détache partiellement des cotylédons. Racines peu abondantes, système pilifère peu développé.

Embryon de Lin de Riga. (Germinat. en plein laboratoire, mois de juin-juillet).

$\text{Cu}(\text{AzO}^3)^2$	A	B	C	
10 ‰	10 min.	2 min.	1 sec.	Caractères spécifiques
5 ‰	10 "	3 "	1 "	provoqués par l'intoxica-
2 ‰	15 "	5 "	1 "	tion : la jeune radicule est
1 ‰	25 "	10 "	10 "	quelquefois à moitié déta-
0,1 ‰	2 heures	30 min.	5 min.	chée de son point d'attache

aux cotylédons, quelquefois elle est hypertrophiée.

Les cotylédons ne noircissent pas, mais sont d'une coloration bleu-verdâtre due à la présence du Cuivre.

Embryon de Haricot de Soissons. — Ces embryons montrent la même sensibilité vis-à-vis des sels de Cuivre que les embryons de Soja. Les embryons traités deviennent la proie des moisissures dès le 4^e ou 5^e jour. L'exposition à la lumière n'a pas diminué cette attaque notablement ⁽¹⁾.

Embryon de Fève de Marais. (Germination en plein laboratoire, mois de juillet).

$\text{Cu}(\text{AzO}^3)^2$	A	B	C	
10 ‰	5 min.	1 min.	1 sec.	Caractères spécifiques provo-
5 ‰	10 "	1 "	1 "	qués par l'intoxication : colo-
2 ‰	15 "	5 "	5 "	ration foncée des cotylédons,
1 ‰	25 "	15 "	15 "	enroulement de la radicule,
0,1 ‰	45 "	30 "	45 "	système pilifère peu développé.

Embryons de Colza et de Cresson. Même sensibilité que les embryons de Radis.

II. EMBRYONS DE GRAINES ALBUMINÉES. — Nous avons opéré avec le Maïs, Blé, Avoine, Orge, Belle de Nuit, Chanvre. Les grains de Céréales furent préalablement gonflés dans l'eau pendant 15 heures ; les akènes de Belle de Nuit et de Chanvre pendant 24 heures.

⁽¹⁾ Il serait intéressant de rechercher la nature des moisissures attaquant chaque espèce de graine. Sur le Haricot il se développe une moisissure qui englobe toutes les graines à la fois, les couvrant comme de fils d'Araignées.

Embryon de Maïs King Philip blanc. (Étuve à 33°-34°). — L'expérience a porté sur 20 embryons.

$\text{Cu}(\text{AzO}^3)^2$	A	B	C
10 ‰	10 heures	1 heure	15 sec.
5 ‰	10 "	1 "	15 "
2 ‰	15 "	3 "	30 "
1 ‰	24 "	5 "	1 min.
0,1 ‰	72 "	48 "	10 "

Parmi ceux que nous avons envisagés celui qui résiste le plus à l'action du Cuivre est l'embryon de Maïs. Sa résistance est remarquable, puisque des embryons peuvent encore germer après avoir séjourné dans une solution de 10 ‰ pendant 10 heures. Il est vrai que la plupart des plantules issues de ces embryons ne continuent pas leur développement et meurent, mais la gemmule apparaît, et croît pendant un certain temps. De plus, ces plantules ne possèdent que la gemmule, le système racinaire étant atrophié.

Mais si le séjour prolongé dans la solution toxique n'a qu'une influence très faible sur le pouvoir germinatif, elle influence à un haut degré l'énergie d'évolution, et un séjour de 15 à 30 secondes dans les solut. de 10 ‰ à 2 ‰ suffit déjà pour que le développement de la plantule soit ralenti.

Pour les plantules issues des embryons qui n'ont séjourné dans le liquide que pendant un temps très court (au-dessous de 5 à 20 minutes), l'action du Cuivre se traduit par l'affaiblissement de la puissance germinative, par la réduction de la longueur de la gemmule et de la racicule, par la diminution de la région couverte de poils absorbants.

Les plantules issues des embryons qui ont séjourné dans le liquide toxique pendant un temps plus long, manifestent leur état maladif par des effets anormaux : la racicule apparaît après la gemmule, et quelquefois n'apparaît pas du tout. Dans ce dernier cas, ou il se développe, sur le futur premier entre-nœud, déjà très visible sur l'embryon, des racines latérales, ou bien elles ne se développent pas, et la plantule meurt.



Fig. 12. — Plantule de Maïs dépourvue de racicule.

Cette germination anormale n'est pas spéciale à l'embryon de Maïs, elle est aussi fréquente chez

le grain de Maïs, ainsi que chez les grains des autres céréales (Blé, Orge, Avoine etc.).

Embryons des Blés. (Etuve à 27°-29° C.). — Ces embryons sont plus sensibles à l'action du Cuivre que les embryons de Maïs, ils sont aussi plus facilement attaquables par les moisissures.

Mais il faut noter que la privation de l'albumen est déjà pour ces embryons une cause d'affaiblissement, et nous n'avons pas pu obtenir en partant des embryons isolés, même non traités par le Cuivre, une évolution complète avec formation des fruits, comme nous l'avons obtenue en partant d'embryons de Maïs.

L'action des sels de Cuivre sur les embryons des Blés se traduit par les mêmes effets que l'action de ces sels sur les embryons de Maïs : diminution de la puissance germinative, réduction de la longueur de la radicule et de la gemmule, atrophie de la radicule.

Nous avons opéré avec 4 Blés pour voir si les embryons ont une résistance différente, suivant la variété à la quelle ils appartiennent, mais il semble que les embryons de tous les Blés se comportent vis-à-vis du Cuivre d'une manière identique. Ces Blés sont : Blé gros bleu (*Triticum sativum* Lam., blé tendre) ; Belotourka (*Triticum durum* Desf., blé dur) ; Pétanielle de Nice (*Triticum turgidum* L., blé poulard) ; Blé Amidonnier (*Triticum amyleum* Ser., blé vêté).

$\text{Cu}(\text{AzO}^3)^2$	A	B	C
10 ‰	2 heures	30 min.	15 sec.
5 ‰	2 »	30 »	15 »
2 ‰	2 »	50 »	15 »
1 ‰	5 »	1 »	30 »
0,1 ‰	24 »	10 »	5 min.

Embryon des Orges et des Avoines. — Même sensibilité que les embryons des Blés. Mêmes caractères spécifiques.

Embryon de Chanvre d'Anjou. (Etuve à 33°-34°). — Très attaqués par les moisissures. La sensibilité de ces embryons vis-à-vis du Cuivre est de l'ordre de sensibilité des embryons des graines exalbuminées.

$\text{Cu}(\text{AzO}^3)^2$	A	B	C	
10 ‰	15 min.	3 min.	5 sec.	Pas de caractères spéci-
5 ‰	20 »	3 »	5 »	fiques. L'intoxication se
2 ‰	20 »	5 »	5 »	traduit par un ralentisse-
1 ‰	30 »	5 »	5 »	ment de l'énergie d'évolu-
0,1 ‰	2 heures	1 heure	10 min.	tion.

Embryon de Belle de Nuit odorante blanche. (Etuve à 30°-32° C.).

— Plus sensible à l'action du Cuivre que l'embryon de Chanvre.

$\text{Cu}(\text{AzO}^3)^2$	A	B	C	
10 ‰	10 min.	1 min.	1 sec.	Ralentissement de l'énergie d'é-
5 ‰	10 »	1 »	1 »	volution ; cotylédons noirs et
2 ‰	15 »	3 »	1 »	comme brûlés.
1 ‰	15 »	3 »	1 »	

Il résulte de cette étude que les embryons des grains des Céréales sont beaucoup plus résistants que ceux des graines des autres familles envisagées.

Cela tient surtout à l'architecture de l'embryon, et notamment à la disposition de l'axe embryonnaire.

Chez les Crucifères, les Cucurbitacées, les Linacées, les Urticacées, les Nyctaginacées, les Papilionacées, l'axe embryonnaire est libre, et peut par conséquent baigner dans la solution toxique directement, tandis que chez les Graminées, l'axe embryonnaire est plus ou moins inclus dans les tissus du cotylédon, et est ainsi dans une certaine mesure protégé.

Les embryons des graines albuminées ou sans albumen, et des familles éloignées, montrent une sensibilité identique vis-à-vis du Cuivre, si leur structure et leur position dans la graine sont analogues. Ainsi l'embryon albuminé du Chanvre ou de Belle de Nuit à axe embryonnaire libre, sont aussi sensibles vis-à-vis du Cuivre que l'embryon exalbuminé de Radis, dont l'axe embryonnaire est également libre.

En récapitulant les faits, en comparant les recherches relatives à l'action du Cuivre sur les embryons, sur la graine ou sur le fruit, on constate que c'est la graine qui résiste le mieux à cette action. Cela est démontré pour les grains des Céréales, de Belle de Nuit, de Soleil, de Sainfoin et de Citrouille.

L'embryon de Belle de Nuit ne germe plus après avoir gonflé

dans une solution d'un sel de Cuivre à 2 % pendant 15 minutes, tandis que l'akène germe encore dans la proportion de 38 %, et la graine dans la proportion de 62 % après avoir séjourné dans la même solution pendant 24 heures. L'embryon de Citrouille qui ne germe plus après un séjour dans la solution à 2 % pendant 30 minutes, germe encore dans la proportion de 82 % (page 22) s'il n'est pas privé du tégument séminal intérieur, même après un séjour de 24 heures dans la solution.

Le tégument séminal, à l'inverse du péricarpe, semble donc exercer contre l'action du Cuivre une protection efficace.

Voici des résultats confirmant ce rôle de protection :

TABLEAU VII

montrant le rôle des téguments séminaux dans la résistance
d'une semence à l'action du Cuivre
(Germination en plein laboratoire, mois de mai-juin.)

NOM :	Nombre de germination après 22 jours (sur 20 graines)				
	Durée de séjour dans la sol. de Cu So ⁴ à 1 %				Eau distil.
	15 m ⁱⁿ .	1 h.	3 h.	6 h.	6 h.
Haricot de Soissons avec tég.	12	2	2	0	18
— sans tég.	1	0	0	0	19
Haricot riz-nain avec tég.	15	4	2	0	20
— sans tég.	3	0	0	0	20
Haricot flageolet avec tég.	13	6	0	0	20
— sans tég.	2	0	0	0	19
Soja à grain jaune avec tég.	6	2	0	0	20
— sans tég.	0	0	0	0	20
Fève de Marais avec tég.	19	20	16	16	19
— sans tég.	15	0	0	0	18
Lin de Riga avec tég.	20	20	19	20	20
— sans tég.	13	0	0	0	20
Colza de Mars avec tég.	20	20	19	20	20
— sans tég.	1	0	0	0	19
Cresson avec tég.	18	19	20	19	20
— sans tég.	2	0	0	0	20
Moutarde blanche avec tég.	16	4	0	0	18
— sans tég.	0	0	0	0	19
Chou Cavalier avec tég.	17	14	12	10	17
— sans tég.	1	0	0	0	18
Radis rouge écarlate avec tég.	10	2	0	0	20
— sans tég.	0	0	0	0	20

(¹) Toutes les graines ont été préalablement gonflées dans l'eau,

On voit aussi par les résultats ci-dessus que le degré de protection que le tégument séminal assure à la graine contre l'action du Cuivre, varie dans des limites très étendues, suivant l'espèce considérée. Cette protection est assez faible chez les graines de Papilionacées, beaucoup plus forte chez les graines des Crucifères.

D'autre part, les graines appartenant à la même famille, telle que les Crucifères, et à structure très semblable, sont protégées par les téguments séminaux à un degré très variable.

Ainsi, le pouvoir germinatif des graines de Colza et de Chou ayant séjourné dans la solution de CuSO_4 à 1 % pendant 1 à 3 heures est encore fort élevé, tandis qu'il est nul chez les graines de Moutarde et de Radis ayant subi un traitement identique, la sensibilité vis-à-vis du Cuivre des embryons de Radis, de Moutarde, de Colza et de Chou étant la même.

Puisque la sensibilité des embryons de ces graines est la même, il faut attribuer un rôle important à la nature du tégument, à sa structure anatomique, pour expliquer comment se comportent les graines entières. L'épiderme extérieur du tégument peut être composé de cellules plus ou moins lignifiées, ou imprégnées de cutine, de substances cireuses et mucilagineuses ; le parenchyme, entre les 2 épidermes, peut être composé d'un nombre d'assises de cellules très variable, et dont la forme et la nature dépend étroitement de l'espèce considérée.

Rien ne prouve que la marche de l'absorption du toxique n'est pas influencée par la nature des assises composant le tégument, et même par leur composition chimique.

Même les stomates, le mycropyle et le hile peuvent jouer un rôle, puisque chez certaines espèces (Papilionacées p. ex.) ils interviennent et facilitent le processus de l'absorption.

Dans des essais de sélection de races, en vue d'obtenir des semences résistantes au sulfatage cuprique, il faudrait certainement prêter grande attention aux structures des téguments, des péricarpes et des graines elles-mêmes,

§ 5. — Sur le rôle des blessures et des mutilations

dans la résistance de la semence à l'action du Cuivre.

La question a été déjà envisagée, en ce qui concerne les grains des céréales, par de nombreux auteurs.

L'égrenage à la machine, comme nous l'avons fait remarquer dans un des paragraphes précédents, occasionne aux grains des blessures pouvant les rendre très sensibles au traitement cuivrique.

Mais il y a divergence d'opinion, d'une part en ce qui concerne la valeur du dommage que l'égrenage mécanique peut faire subir aux grains, et d'autre part en ce qui concerne la résistance des grains mutilés et blessés à l'intoxication par le Cuivre.

Max Ringelmann ⁽¹⁾ rapporte le fait qu'aux Etats-Unis il a fallu, dans les premiers temps de l'emploi de la machine à battre, semer un quart de plus de grains pour obtenir le même résultat.

Voici d'après Schellenberg ⁽²⁾ le nombre des grains abîmés dans le battage à la main et à la machine :

Battage à la main	: Blé	8 %;	Seigle	10 %;	Orge	13 %;	Epautre	—
— à la machine :	—	26 %;	—	32 %;	—	20 %;	—	72 %.

Rommetin ⁽³⁾ donne des chiffres plus faibles, mais encore assez élevés.

Ainsi, suivant le Bulletin d'analyse de la Station d'essai de semences, dans l'échantillon envoyé par M. Rommetin qui renfermait des grains fournis par la batteuse et qui ont été passés au trieur, il y avait encore 6,88 % des grains mutilés incapables de toute faculté germinative, et 7 % des grains à fissures peu apparentes, mais suffisantes pour tuer le grain par un trempage dans une solution de 1 % de CuSO_4 .

Munerati, dans un rapport présenté au Congrès International de Rome soutient, au contraire, que les grains battus à la machine ne

⁽¹⁾ Le battage à la machine et les graines de semences. (*Journal d'Agriculture Pratique*, Nouv. Sér., T. VI, p. 72, 1903).

⁽²⁾ Cité par RINGELMANN.

⁽³⁾ Influence nuisible du battage à la machine sur la germination des blés de semence. (*Journal d'Agriculture Pratique*, 1902, T. III, p. 374, Nouv. Sér.) Cité aussi par RINGELMANN.

paraissent pas avoir perdu leurs qualités germinatives ou bien qu'ils les perdent dans une proportion négligeable (2 % à 4 %). Des chiffres de même ordre sont aussi donné par Burki (1).

Ringelmann remarque avec raison qu'il ne faut pas généraliser, et que la question dépend d'un certain nombre de variables, tels que l'état de maturité lors de la récolte, le genre du batteur, l'écartement du contre-batteur, vitesse etc. L'auteur ajoute « que dans les meilleures conditions la batteuse peut ne détruire que 2 % à 4 % des graines, alors que dans les plus mauvaises conditions il est possible d'atteindre le chiffre de 20 % à 26 % ». »

On peut encore ajouter que l'état de siccité de la graine est aussi à considérer, les grains secs se cassant plus facilement que les grains mous.

Ce qu'il faut surtout prendre en considération, ce n'est pas le nombre de grains endommagés par la batteuse, mais la nature des blessures occasionnées, puisqu'une blessure du péricarpe ou de l'endosperme n'empêchera pas la graine, même si elle est traitée au Cuivre, de germer et de produire des plantes fertiles, tandis qu'une blessure dans la région du scutelle peut être mortelle.

D'après Haberlandt (463) le Blé mutilé n'est pas plus affecté par le traitement cuivrique que le Blé intact.

Nobbe (827) a fait des expériences avec du Blé, Seigle, Orge, Fléole récoltés à la main et à la machine. L'auteur a constaté que ces grains diversement récoltés se comportent, vis-à-vis du Cuivre, d'une manière identique ; seul le Fléole s'est montré plus sensible quand il fut récolté à la machine. L'auteur avoue d'ailleurs que les grains à blessures apparentes furent éliminés à l'avance.

Volkart (1239) écrit que seules les blessures des germes sont dangereuses quand on sulfate la graine, mais les blessures des autres parties de la graine n'auraient pas d'importance d'après cet auteur.

D'après Grassmann (435) les semences obtenues par battage souffrent plus du traitement cuivrique que les semences récoltées par les mains.

(1) Cité par François et Pierre BERTHAULT. (*Le Blé*, Paris, 1912).

Voici, d'après Jaczewsky (loc. cit.), le nombre de germinations qu'ont donné les semences récoltées à la main et à la machine et ayant subi le même traitement cuivrique (16 heures dans CuSO_4 à 0,5 %):

A la main	:	Blé d'hiver	97;	Blé d'été	96;	Seigle de Champagne	98;
A la machine	:	—	65;	—	65;	—	83;
A la main	:	Avoine locale	94;	Orge locale	92;		
A la machine	:	—	65;	—	63;		

Nous avons répété un certain nombre de ces expériences, et nous en avons ajouté d'autres.

Nous avons déjà mentionné, au début de ce travail, que le classement des différents Blés par ordre décroissant de résistance, vis-à-vis du Cuivre, varie suivant que ces Blés ont été vérifiés intacts ou puisés directement dans l'échantillon, et nous l'avons expliqué par l'influence des blessures qui peuvent être occasionnées par les machines à battre, piqûres d'insectes ou accidents divers.

Voici des résultats qui se rapportent d'une part à des graines choisies et vérifiées intacts, d'autre part à des graines prises au hasard et ayant subi un traitement identique.

TABLEAU VIII

montrant le rôle du choix de la semence dans le traitement cuivrique.

NOM :	Nombre de germinations après 22 à 23 jours.									
	CuCl ² à 1%				CuSO ^e à 1%					
	DURÉE DE L'INTOXICATION :									
	72 ^h .	48 ^h .	24 ^h .	12 ^h .	24 ^h .	12 ^h .	6 ^h .	1 ^h .	15 ^{mi}	
Blé Belotourka choisi	116	151								
— non choisi.	100	124								
Blé Pétanielle choisi.....	111	150								
— non choisi..	100	121								
Blé de Bordeaux choisi ...	94	120								
— non choisi.	67	89								
Blé rouge prolif. choisi...	83	108								
— non choisi.	71	90								
Blé Japhet choisi.....	69	93								
— non choisi	49	64								
Blé Chiddam choisi.... ^a .	51	81								
— non choisi..	46	66								
Orge Albert choisi	60	146								
— non choisi ...	54	140								
Orge de Moravie choisi. .	60	133								
— non choisi.	51	120								
Avoine géante choisi.....			100	168						
— non choisi.			92	160						
Avoine de Pologne choisi .			70	164						
— non choisi.			70	150						
Chanvre choisi.....					160	178				
— non choisi					104	122				
Trèfle choisi.....						60	82			
— non choisi.....						39	68			
Luzerne choisie.....						50	73			
— non choisie.....						39	49			
Soja choisi.....								36	71	
— non choisi.....								24	64	

Voici, d'autre part, un tableau qui résume les résultats obtenus en soumettant les semences à des mutilations diverses concernant les différents tissus.

TABLEAU IX

montrant l'action du Cuivre sur des graines blessées ou mutilées.

TRAITEMENT SUBI		AVOINE DE BELGIQUE	BLÉ JAPHET	ORGE ALBERT	MAÏS KING PHILIP	SEIGLE DE SLANSTEDT	SOLEIL DE RUSSIE (AKÈNE)	CITROUILLE DE TOURAINE	HARICOT NAIN	RADIS ÉCARLATE HÂTIF	LIN DE RIGA
		Nombre de germinations après 23-28 jours (sur 50 graines).									
Grain entier	} + 24 ^h dans Cu SO ⁴ à 1 ^o / _o .	32	40	35	50	40	40	10			40
Grain coupé à 1/2		28	37	31	48	37	40	21			22
Grain coupé au 1/3		22	35	24	46	34	36	19			14
Grain entier	} + 48 ^h dans CuSO ⁴ à 3 ^o / _o .	9	27	0	40	30	40	3			29
Grain coupé à 1/2		1	15	0	36	31	41	0			11
Grain coupé au 1/3		0	10	0	32	28	23	0			2
Graine entière	} + 15 ^{min} dans CuSO ⁴ à 2 ^o / _o .								36	30	
Graine coupée à 1/2									4	0	
Graine coupée au 1/3									0		
Blessures dans l'albu- men ou cotylédon.	+ 24 ^h dans CuSO ⁴ à 1 ^o / _o .	30	39	30	47	34	41	10			
Idem	+ 48 ^h à 2 ^o / _o .	24	19	11	36	31	33	4			
Idem	+ 15 min. CuSO ⁴ à 1 ^o / _o .								8	2	
Piqûre dans l'axe) embryonnaire (1)	+ Eau distillée 24 heures	14	7	11	23	12			19	6	14
Piqûre dans l'axe) embryonnaire	+ CuSO ⁴ à 0,1 ^o / _o 24 heures	2	2	4	7	3					2
Piqûre dans l'axe) embryonnaire	+ CuSO ⁴ à 1 ^o / _o 15 minutes	3	1	5	7	2			0	0	4

Ce tableau montre incontestablement que les blessures de la graine créent des conditions nouvelles la rendant beaucoup plus sensible à l'action du Cuivre.

Les blessures dans les tissus de réserve n'affectent pas au même

(1) Piqûre à l'aide d'une épingle.

degré les graines de différentes espèces, et semblent être plus dangereuses pour les graines à cotylédons poreux, dont le pouvoir absorbant est élevé ⁽¹⁾. (Haricot par exemple).

Mais une action traumatique concernant les parties vivantes de la graine, l'axe embryonnaire notamment, affecte à un même degré toutes les graines ; et le Blé se montre alors aussi sensible vis-à-vis du traitement cuivrique que le Radis ou le Haricot. Déjà les piqûres dans l'axe embryonnaire diminuent notablement le pouvoir germinatif des graines, même si le traitement cuivrique n'est pas pratiqué.

La plus faible résistance que la graine blessée ou mutilée oppose au Cuivre est due surtout à l'augmentation de la vitesse d'absorption de la substance toxique, et par conséquent à un plus fort emmagasinement du métal nuisible, mais elle est aussi due à l'action plus énergique des moisissures et de la flore bactérienne, pour qui les blessures servent de porte d'entrée.

L'augmentation de la vitesse d'absorption consécutive à des blessures dans les tissus de la graine a été fort bien étudiée par Coupin ⁽²⁾ et nous nous dispensons par économie de place, de donner ici nos recherches personnelles qui les vérifient. Mentionnons seulement que, *pour une graine intacte, la vitesse d'absorption varie avec la concentration du liquide et sa nature, alors que dans une graine blessée le liquide pénètre avec la même facilité, quelles que soient sa concentration ou sa composition chimique.*

Citons une seule de nos expériences pour montrer le rôle de la quantité du toxique absorbé.

Haricots de Soissons gonflant dans une solution de CuSO_4 à 0,1 °/...

	Poids initial.	1/2 h ^{re} après.	4 h. après.	7 h. après.	24 h. après.
Haricot de Soissons intact	4 gr 240	4 gr 221	4 gr 238	4 gr 270	6 gr 211
— blessé	4 gr 214	4 gr 239	4 gr 504	4 gr 680	7 gr 670
— mutilé	4 gr 200	4 gr 265	4 gr 676	5 gr 270	8 gr 008

Ces Haricots mis à germer ont donné des germinations dont le nombre a varié non pas à raison de la durée de l'intoxication subie, mais plutôt proportionnellement à la quantité du toxique absorbé.

⁽¹⁾ Le pouvoir absorbant moyen du Blé est de 47, du Haricot 110.

⁽²⁾ Henri COUPIN. Recherches sur l'absorption et le rejet de l'eau par les graines. (Thèse, Paris, 1896).

Ainsi les Haricots intacts qui ont séjourné dans la solution pendant 4 heures ont donné autant de germinations que les Haricots blessés qui n'y ont séjourné que 1/2 heure.

Différents auteurs ont émis l'opinion que les blessures et les mutilations hâtent la germination de la graine.

Ainsi, d'après Macchiati ⁽¹⁾, la germination est plus prompte et plus facile pour les graines débarrassées de leur spermodermis. Les Légumineuses hâtent leur germination, lorsqu'elles ont été débarrassées d'un cotylédon.

Behrens ⁽²⁾ affirme que le développement plus rapide des graines mutilées n'est pas dû seulement à la plus grande absorption d'eau, mais que la mutilation a une action qui lui est propre. Si la blessure est recouverte de gutta-percha, d'une solution de gomme ou de colophane, le développement est tout de même plus rapide.

Pour les semences non soumises au traitement cuivrique, ce rôle favorable des actions traumatiques sur la germination est sans conteste, et nous l'avions maintes fois constaté au cours de nos recherches, mais ce rôle devient néfaste aussitôt qu'à l'action traumatique s'ajoute celle du Cuivre. Une graine blessée plongée pendant une heure dans une solution de CuSO_4 à 0,000001 % manifeste déjà un faible retard dans son développement, tandis que pour la graine intacte le séjour dans une telle solution est inoffensif. Le traitement cuivrique des graines blessées affecte leur puissance germinative à un degré encore plus haut que leur pouvoir germinatif. Nos cultures en sol nous le démontreront.

A signaler que les grains de Blé, dont l'axe embryonnaire fut piqué par une épingle donnent souvent naissance à des plantules où la radicule unique est remplacée par 2 radicules symétriques. Cela est à rapprocher avec la constatation identique faite par Marin Molliard pour les embryons blessés de *Knautia Arvensis* ⁽³⁾.

⁽¹⁾ Sulla germinabilità dei vecchi semi e dei semi mutilati. (Bull. Soc. Bot. Ital., 1908 ; Bot. Centralblatt, 1909, Bd. 110, p. 652).

⁽²⁾ Über die Beeinflussung der Keimfähigkeit gewisser Samen durch Narkose und Verwundung. (Ber. d. Grossh. Bad. Landw. Versuchsanstalt, Augustenberg, 1906, Bot. Centralblatt, 1908, Bd. 110, p. 652).

⁽³⁾ Structure de l'axe hypocotylé de *Knautia Arvensis* après lésion axiale de l'embryon. (Soc. Bot. de France, Séance du 25 mars 1904).

§ 6. — Autres facteurs influençant la sensibilité de la graine vis-à-vis du Cuivre.

GONFLEMENT PRÉALABLE. — L'état de siccité de la graine est important à considérer. La récolte a pu être faite pendant un temps pluvieux, ou a pu être conservée dans des conditions facilitant à la graine l'absorption de l'humidité. Or, la graine gonflée dans l'eau est plus sensible au traitement cuivrique que la graine sèche.

D'après Kudelka (629) les grains de Blé gonflés préalablement dans l'eau et mis ensuite dans une solution de CuSO_4 à 1/2 %, pendant 2 heures, ont déjà une puissance germinative affaiblie, et le pouvoir germinatif diminue d'autant plus que le gonflement était plus prolongé.

Pour Giglioli (419) cette action est générale, et le mouillage préalable de la semence dans l'eau augmente sa sensibilité vis-à-vis de toute autre substance.

Nos expériences avec d'autres graines nous ont donné un résultat identique, et ont de plus montré que ce double traitement affecte à un haut degré les graines blessées.

Voici des résultats montrant l'action nuisible du mouillage préalable. On a opéré sur 50 graines.

TABLEAU X

Traitement cuivrique des graines gonflées préalablement dans l'eau.

	NOMBRE DE GERMINATIONS APRÈS :					
	1 jour	3 jours	7 jours	15 jours	22-25 j.	
Betterave, 12 ^h dans l'eau + 12 ^h dans CuSO ⁴ à 1°/o	0	7	18	33	39	
Betterave, 12 ^h dans CuSO ⁴ à 1°/o	0	9	26	42	42	
Betterave, 24 ^h dans l'eau + 12 ^h dans CuSO ⁴ à 1°/o	0	5	14	28	33	
Cotonnier, 12 ^h dans l'eau + 12 ^h dans CuSO ⁴ à 1°/o	0	7	23	42	45	
Cotonnier, 24 ^h dans CuSO ⁴ à 1°/o	0	9	31	49	49	
Blé, 12 ^h dans l'eau + 12 ^h dans CuSO ⁴ à 0,5°/o	0	11	39	46	46	
Blé, 12 ^h dans CuSO ⁴ à 0,5°/o	3	13	46	50	50	
Blé, 48 ^h dans l'eau + 12 ^h dans CuSO ⁴ à 0,5°/o	0	7	31	40	42	
Blé blessé	0	4	27	34	31	
Blé mutilé	0	3	49	28	28	
Orge blessé, 12 ^h dans l'eau + 12 ^h dans CuSO ⁴ à 0,5°/o	0	6	18	31	32	
Orge blessé, 12 ^h dans CuSO ⁴ à 0,5°/o	0	8	22	29	33	
Orge intact, 12 ^h dans l'eau + 12 ^h dans CuSO ⁴ à 0,5°/o	0	9	27	31	38	
Pavot, 12 ^h dans l'eau + 24 ^h dans CuSO ⁴ à 0,5°/o	0	12	20	21	24	
Pavot, 24 ^h dans CuSO ⁴ à 0,5°/o	1	18	31	39	39	
Sainfoin, 24 ^h dans l'eau + 24 ^h dans CuSO ⁴ à 1°/o	0	10	19	23	30	
Sainfoin, 24 ^h dans CuSO ⁴ à 1°/o	0	11	19	33	33	
Embryon de Chanvre ⁽¹⁾ 12 ^h dans l'eau + 5 ^{min} dans CuSO ⁴ à 4°/o ...	0	0	6	6	3	
Embryon de Chanvre ⁽¹⁾ 5 min. dans CuSO ⁴ à 1°/o	0	4	9	11	12	

⁽¹⁾ Sur 20 embryons.

Nous avons ici deux actions nuisibles qui se superposent. Le mouillage seul influence déjà défavorablement la graine et diminue d'une part sa puissance germinative ⁽¹⁾ et d'autre part fait perdre à la graine par exosmose de la matière organique et des sels nutritifs ⁽²⁾.

L'action nuisible du gonflement préalable est aussi démontrée par le fait que les plantes issues des graines préalablement gonflées mûrissent après les plantes issues de graines non gonflées. (Wollny, Kraus) ⁽³⁾.

D'autre part, le mouillage rend les téguments de la graine perméables et peut ainsi faciliter l'absorption de la substance toxique. Il est aussi possible que la graine non gonflée, à l'état de vie latente, soit moins sensible vis-à-vis du Cuivre que la graine gonflée, dont l'activité diastasique a été réveillée par le séjour dans l'eau.

DESSÈCHEMENT PRÉALABLE. — Dans certaines régions du Nord, les semences sont desséchées avant le semis. Cette opération, en privant la graine d'une partie de son humidité naturelle, rend la graine plus apte à se gonfler, et peut, par conséquent, la rendre plus sensible vis-à-vis du traitement cuivrique. Ainsi, les vieilles semences qui se sont, à la longue, desséchées, sont plus sensibles vis-à-vis du Cuivre, que les semences bien conservées.

Nous avons desséché dans l'étuve et à des températures ne dépassant pas 40° des grains intacts et blessés de Blé, d'Orge et d'Avoine, et nous les avons ensuite fait gonfler dans des solutions de Cu Cl^2 .

Ces expériences nous ont montré que, seul, le Blé est influencé par ce double traitement, alors que pour l'Orge et l'Avoine le dessèchement préalable est sans action.

Cela s'explique par le fait que dans le cas de l'Avoine et de l'Orge, qui sont des grains vêtus, l'évaporation de l'eau est dans une certaine mesure empêchée par la présence des balles.

Le dessèchement suivi de traitement cuivrique agit surtout sur

⁽¹⁾ H. COUPIN. Sur la résistance des graines à l'immersion dans l'eau. (*C. R. Ac. Sc.*, T. CXXVI, p. 1365).

⁽²⁾ VINCENT. Etude sur l'absorption des dissol. nutritives par les grains du Blé. (*Annales de la Science agronom. franç. et étrangère*, Série II, T. II, 1898).

⁽³⁾ D'après FRANZ SCHINDLER. (*Die Lehre v. Pflanzenbau auf physiol. Grundlage*, Wien, 1896).

la puissance germinative du Blé, mais ne diminue pas son pouvoir germinatif.

CONSERVATION DE LA GRAINE APRÈS LE TRAITEMENT. — Les conditions atmosphériques peuvent ne pas se prêter aux semis, et on est quelquefois obligé d'attendre quelques jours après que la semence ait été déjà soumise au traitement. Cette conservation forcée de la graine traitée et gonflée est-elle nuisible?

D'après Tubeuf ⁽¹⁾, la conservation prolongée des semences traitées ne nuit pas à leur pouvoir germinatif. C'est aussi l'opinion de Hollrung ⁽²⁾ qui en opérant avec l'Orge et l'Avoine a trouvé que ces grains se sont bien conservés même 26 et 50 jours après le traitement.

Grassman, (435) et Alpine (743), au contraire, ont trouvé qu'avec l'augmentation de la durée de conservation des semences desséchées après le traitement, leur pouvoir germinatif diminue.

Nous avons, pour contribuer à l'étude de cette question, opéré avec un grand nombre de semences intactes, blessées ou dépourvues de leurs téguments.

Les semences, après le traitement, furent divisées en 3 parties de 30 graines chacune. Une des parties fut laissée telle quelle, et a été mise en petits tas sur des assiettes en porcelaine placées dans l'obscurité à la température du laboratoire. La seconde partie fut desséchée entre papier filtre, et placée ensuite dans les mêmes conditions que la première. La troisième partie fut desséchée dans l'étuve à 35°-40° et a été conservée dans du sable de verrerie très sec jusqu'à 80 jours. Les semences sur lesquelles nous avons opéré sont : Maïs, Orge, Blé, Seigle, Millet, Sarrasin, Soleil, Lin, Radis, Soja, Chanvre.

Les graines qui ont été conservées mouillées, ont commencé à fermenter dès le 3^{me} jour, et dès le 4^{me} jour les graines de Soja, Radis, Lin ont commencé à se couvrir de moisissures. Elles furent immédiatement semées dans une terre de jardin placée dans des godets et mises dans une serre couverte placée sur le balcon du laboratoire. A côté ont été mises à germer des graines témoins ayant subi le même traitement, mais sans conservation.

(1) Studien über die Brandkrankheiten des Getreides und ihre Bekämpfung, 1901.

(2) Die Verhütung des Brandes. (*Landw. Jahrbücher* XXVI, 1897).

La conservation des graines traitées et mouillées en tas, s'est montrée, comme on a pu le prévoir, extrêmement néfaste.

Par rapport aux graines témoins également traitées mais non conservées, la baisse du pouvoir germinatif fut : pour le Blé intact de 27 % ; pour le Blé blessé de 39 % ; pour le Maïs de 19 % ; pour l'Orge intact de 32 % ; pour l'Orge blessée de 50 % ; pour le Seigle de 28 % ; pour le Millet de 33 % ; pour le Sarrasin de 18 % ; pour l'akène du Soleil de 8 % ; pour la graine du Soleil de 14 % ; pour le Lin de 27 % ; pour le Radis de 65 % ; pour le Soja de 85 % ; pour le Chanvre de 23 %.

Le dessèchement préalable entre du papier filtre a déjà exercé une action modératrice et les graines se sont conservées plus longtemps et ont donné un nombre plus grand de germinations.

La baisse du pouvoir germinatif de ces graines après 11 jours de conservation fut : pour le Blé intact de 11 % ; pour le Blé blessé de 20 % ; pour l'Orge intact de 16 % ; pour l'Orge blessée de 24 % ; pour le Millet de 19 % ; pour l'akène du Soleil de 4 % ; pour le Soja de 29 % ; pour le Radis de 30 %.

Quant aux graines qui ont été desséchées dans l'étuve, elles se sont conservées d'une façon tout à fait satisfaisante et semées de 20-80 jours après la conservation elles ont donné un déchet presque négligeable. Peut-être n'y aurait-il même pas de déchets du tout si les semis avaient pu être faits dans la terre, mais nous étions déjà en plein été et le semis a eu lieu dans l'étuve.

Nous concluons donc que le traitement cuprique des graines étant réalisé, si le grain est conservé après un bon séchage, le Cuivre ne diminue pas la valeur de la graine conservée pendant plusieurs semaines avant d'être semée.

TRAITEMENT GRADUÉ ET DISCONTINU. — Nous nous sommes demandés si en soumettant la graine ou l'embryon à des traitements gradués, il est possible de provoquer une hypersensibilité. Nous n'avons obtenu aucun résultat. On soumettait la graine à une intoxication de courte durée et on recommençait après un intervalle plus ou moins long. Dans l'intervalle séparant deux traitements la graine fut laissée telle quelle, ou gonflée dans l'eau ou desséchée. Nous n'avons donc pas pu mettre en évidence d'influence anaphylactique due à l'intoxication cuivrique.

MOISSISSURES. — Nous avons maintes fois signalé leur rôle.

Voici, d'après nos expériences personnelles, pour les *semences intactes et traitées* par une solution cuprique, l'ordre décroissant de résistance aux moisissures :

1) Maïs	11) Tomate	21) Lin
2) Riz	12) Chanvre	22) Colza
3) Sorgho	13) Blé	23) Sainfoin
4) Soleil	14) Avoine	24) Poireau
5) Belle de Nut	15) Pavot	25) Chou
6) Betterave	16) Orge	26) Fève de Marais
7) Carotte	17) Millet	27) Luzerne
8) Coton	18) Fromental	28) Trèfle
9) Seigle	19) Cresson	29) Haricot
10) Sarrasin	20) Citrouille	30) Soja
		31) Radis

CHAPITRE II

§ 7. — Action du milieu de culture sur la germination des semences traitées au Cuivre.

Nous avons vu dans un des paragraphes précédents (p. 29) que les graines traitées par une solution d'un sel de Cuivre et mises à germer dans l'étuve sont influencées dans leur développement par le papier même sur lequel la germination a lieu. Kühn (loc. cit.) l'a expliqué en admettant que le papier fixe le Cuivre et empêche de cette manière l'allongement de la radicule.

Différents auteurs ont montré que les conséquences du traitement cuivrique s'atténuent dans une certaine mesure, quand l'évolution de la graine traitée a lieu dans son milieu naturel, dans le sol, dont le pouvoir absorbant pour le Cuivre est fort élevé.

Nobbe (loc. cit.) a arrosé 152,02 gr. d'une terre sèche par 150 cc. d'une solution contenant 2940 mmg. de sulfate de Cuivre. La terre fut ensuite épuisée par 12 fois par l'eau distillée, et l'eau d'épuisement fut recueillie et dosée. Sur les 2940 mg. du sel ajouté on n'a retrouvé que 66,75 mmg. de CuO , ce qui correspond à 209,9 mg. du sel, soit 7,1 %. Le sol a donc absorbé 92,9 % de CuSO_4 .

Mais les différents sols n'ont pas le même pouvoir absorbant, et d'après Simon (1096), c'est la terre de jardin qui en absorbe le plus tandis que l'argile, le sable en fixent peu.

La fixation du Cuivre par le sol est d'ailleurs suffisamment démontrée par la pratique viticole, dans la lutte contre les maladies de la vigne (1).

Le milieu de culture est donc important à considérer. Dans le sol, le sel de Cuivre localisé sur, ou dans le tégument, peut, par exosmose, passer à l'extérieur où il est décomposé : l'acide se combine avec des bases telles que la chaux, la soude, la potasse, la magnésie, et est entraîné avec les eaux de drainage dans le sous-sol, tandis que le Cuivre est fixé, engagé dans des combinaisons insolubles, et devient de cette manière inoffensif pour la radicule.

(1) Voir là-dessus le travail de BERLESE et SOSTEGNI (85).

Dans quelle mesure le changement du milieu de culture intervient-il ?

Nous avons, pour répondre à cette question, effectué des semis dans quatre milieux différents : *terre de jardin* finement tamisée, *sciure de bois*, *sable de verrerie*, *papier de germination* ⁽¹⁾, placés dans des assiettes de porcelaine, à la température du laboratoire.

I^e expérience : 200 grains intacts de Blé Japhet ont été gonflés pendant 24 heures dans une solution d'acétate de Cuivre à 2 %, et furent ensuite semés en nombre égal sur chacun des quatre milieux. 13 jours après, le nombre de germinations fut de 130 sur terre, de 127 sur sable, de 131 sur sciure, de 130 sur papier. 19 jours après le semis, il y avait : 137 sur terre, 136 sur sable, 138 sur sciure, 136 sur papier. Donc le changement de milieu n'a pas influencé le pouvoir germinatif.

Mais par contre les grains qui ont été mis à germer sur la terre de jardin ont donné un plus grand nombre de plantules normales que les grains qui poussaient sur les autres milieux. Nombre de plantules anormales (sans radicule) : sur terre de jardin : 17 ; sur sciure de bois : 42 ; sur sable de verrerie : 43 ; sur papier de germination : 46.

II^e expérience : 200 grains de Maïs King Philipp. gonflés dans l'acétate de Cuivre à 2 % pendant 48 heures. Pas d'influence sur le pouvoir germinatif avec le changement de milieu. Nombre de plantules anormales : terre de jardin : 29 ; sciure de bois : 30 ; sable de verrerie : 30 ; papier de germination : 32.

III^e expérience : 200 grains d'Avoine de Houdan gonflés dans l'acétate de Cuivre à 2 % pendant 48 heures. Nombre de germinations après 14 jours : sur terre de jardin : 9 dont 4 anormales ; sur sciure de bois : 2 anormales ; sur papier de germination : 4 anormales ; sur sable de verrerie : 6 dont 3 anormales.

IV^e expérience : 50 grains d'Orge de Moravie, coupés de moitié, et gonflés dans l'acétate de Cuivre à 2 % pendant 24 heures. Nombre de germinations après 12 jours : sur sciure de bois : 12 dont 9 anor-

(1) Nous avons aussi opéré avec des solutions nutritives, mais les expériences n'ont pas pu être continuées à cause des événements bien connus de l'été 1914.

males ; sur papier de germination : 9 dont toutes anormales ; sur terre de jardin : 12 dont 6 anormales.

V^e expérience : 80 Embryons de *Soja hispida* gonflés dans le formiate de Cuivre à 0,5 % pendant 15 minutes. Nombre de germinations après 8 jours : sur terre de jardin : 3 ; sur sciure de bois : 4 ; sur sable de verrerie : 4 ; sur papier de germination : 2. Tous sont plus ou moins attaqués par les moisissures.

VI^e expérience : 100 akènes de Cotonnier gonflés pendant 48 h. dans le formiate de Cuivre à 2 %. Nombre de germinations après 19 jours : sur terre de jardin : 26 ; sur papier de germination : 15.

VII^e expérience : 100 grains de Blé Amidonnier avec balles gonflés pendant 24 heures dans le formiate de Cuivre à 2 %. Nombre de germinations après 12 jours : sur terre de jardin : 11 ; sur papier : 3.

VIII^e expérience : Blé Amidonnier sans balles. Même traitement. Nombre de germinations après 12 jours : sur terre de jardin : 23 ; sur papier : 20.

Ces expériences, peu nombreuses d'ailleurs, montrent que le pouvoir germinatif du Blé, du Maïs, de l'embryon de Soja traités par un sel de Cuivre n'a pas été influencé par le changement du milieu d'évolution. Par contre, le Blé Amidonnier, l'Avoine, le Coton (grains vêtus, akène) ont germé plus facilement et en plus grand nombre sur terre de jardin, que sur les autres milieux. La terre de jardin, en drainant le Cuivre qui s'est concentré dans les balles ou dans le péricarpe, a facilité la sortie de la radicule.

Au surplus, les phénomènes chimiques dont le sol est le siège sont très complexes, et doivent se dérouler avec des processus très variables et difficiles à préciser expérimentalement.

§ 8. — Sur le rôle de la température de la solution dans le traitement cuivrique de la semence.

Avec l'augmentation de la température la cohésion moléculaire diminue, et par conséquent l'absorption s'accroît. D'autre part, aux températures élevées, les réactions chimiques deviennent plus intenses, et peuvent même provoquer des réactions nouvelles.

Avec l'élévation de la température la graine fixe plus de métal et absorbe plus de liquide. Or, le gonflement est déjà par lui-même nuisible, la graine se ramollit et devient apte à se réchauffer, ce qui nuit à sa faculté germinative.

D'après Toporkoff ⁽¹⁾, le Blé d'été tenu dans une solution de CuSO_4 pendant 6 heures, a tellement gonflé qu'il a fallu le dessécher pendant 4 jours et augmenter la quantité de semence mise en terre de une fois et demie.

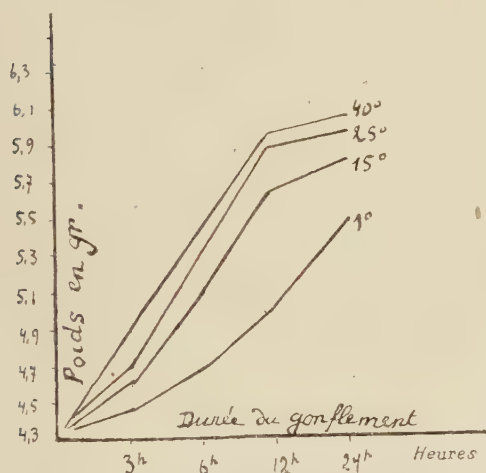


Fig. 13, montrant la marche de l'absorption avec la variation de la température de la solution.

Nous avons fait gonfler différentes semences dans des solutions dont la température a varié de 1° C. jusqu'à 40° C. et avons suivi la marche de l'absorption.

Voici la variation du poids qu'ont présenté après un gonflement de 3 à 24 heures dans une solution de CuCl_2 à 0,5% des graines de Haricot de Soissons.

On remarque sur la courbe que la marche de l'absorption se ralentit

considérablement à partir de 12 heures pour les graines qui ont gonflé à 15°-40°. En réalité, l'absorption ne se ralentit pas, mais la graine perd de la matière par exosmose, d'où une diminution du poids. A 40° la solution est nettement troublée et donne déjà des indices de fermentation.

L'augmentation de la vitesse d'absorption avec l'élévation de la température est générale pour toutes les graines, mais l'accélération elle-même dépend de la nature de la graine et surtout de la nature de ses téguments.

Nous avons aussi suivi la marche de l'absorption chez le Blé, mais le grain est difficile à essayer et de plus le sillon retient du métal.

⁽¹⁾ La lutte contre la carie des céréales. (*Journal d'Agronomie expérimentale* 1903) [en russe].

Voici des chiffres montrant comment varient le pouvoir et la puissance germinative avec l'augmentation de la température de la solution dans lesquelles les graines furent gonflées :

TABLEAU XI

montrant le rôle de la tempér. de la solution dans le traitement cuivrique de la semence.
(Germination à la température du laboratoire)

NOM :	TRAITEMENT :	Nombre de germinations après :			
		2 jours	7 jours	15 jours	23-25 j.
Blé Japhet	24 h. dans CuSO_4 à 1°/o (40°)	—	16	31	32
—	— (25°)	—	22	33	33
—	— (15°)	—	26	40	40
—	— (1°)	—	25	40	40
Blé Noë	— (40°)	1	12	24	29
—	— (25°)	0	17	30	32
—	— (15°)	0	19	37	37
—	— (1°)	0	19	36	36
Avoine géante	— (40°)	0	11	18	18
—	— (15°)	0	10	15	17
—	— (1°)	0	11	18	18
Idem, sans balles	— (40°)	0	19	32	32
—	— (15°)	3	23	39	39
—	— (1°)	0	27	38	38
Blé Amidonnier	— (40°)	0	2	10	14
—	— (1°)	0	5	10	14
Poireau de Midi	— à 0,5°/o (40°)	—	—	—	38
—	— (15°)	—	—	—	36
—	— (1°)	—	—	—	36
Carotte	— (40°)	—	—	—	33
—	— (1°)	—	—	—	35
Trèfle	12 h. dans $\text{Cu}(\text{AzO}_3)_2$ à 2°/o (40°)	pas observé			7
—	— (25°)	—	—	—	10
—	— (1°)	—	—	—	18
Radis	10 ^{min} — (40°)	—	—	—	6
—	— (1°)	—	—	—	15
Embryon de Maïs ⁽¹⁾	2 h. — (40°)	—	—	—	11
—	— (1°)	—	—	—	18
Embryon de Belle de Nuit ⁽¹⁾	10 ^m . — (40°)	0	0	3	3
—	— (1°)	0	3	7	7
Fromental	12 h. — (40°)	0	6	11	11
—	— (1°)	0	6	13	13
Millet	— (40°)	1	11	18	19
—	— (15°)	3	19	24	24
—	— (1°)	1	22	29	30

(1) Sur 20 embryons,

De ces expériences il résulte que toutes les graines ne sont pas influencées à un même degré par l'élévation de la température de la solution cuprique. Les graines recouvertes par des balles (Avoine vêtue, Blé Amidonnier) ou des semences qui sont des akènes souffrent moins que les graines telles que Blé, Avoine sans balles, Trèfle, Radis, chez lesquelles l'échange avec le milieu toxique se fait plus facilement.

L'augmentation de la sensibilité de la graine avec l'élévation de la température doit être attribuée à une plus grande absorption du toxique et à une plus grande perte des substances solubles nutritives.

§ 9. — Sur le rôle de la concentration de la solution toxique, et de la durée de l'intoxication.

Dans quelle mesure la sensibilité de la graine vis-à-vis du Cuivre varie-t-elle avec l'augmentation de la concentration de la solution?

Nous avons opéré avec des solutions de 0,000000001 % jusqu'à celles de 10 %, et en nous servant surtout des graines sans téguments et d'embryons.

Les solutions très étendues des sels de Cuivre exercent-elles une action excitatrice sur les graines ou les embryons?

Hueppe ⁽¹⁾ a formulé comme une loi biologique que tous les corps qui, en solution concentrée, tuent le protoplasma, exercent, au contraire, une action excitatrice en solution très étendue.

En opérant avec des sels de Cuivre purs nous n'avons jamais pu observer des actions excitatrices, quelles que fussent la dilution et la durée du gonflement. La solution est ou nuisible ou indifférente, et cela sans transition.

Pourtant l'action excitatrice des solutions très étendues de substances toxiques a été maintes fois constatée. Citons, comme exemples, l'observation de Miani ⁽²⁾ que le pollen germe mieux dans de l'eau où a séjourné de Cuivre métallique; ou encore l'observation de Kanda (loc. cit.) sur la végétation des plantules de *Pisum* dans des solutions extrêmement diluées.

Il est possible que des grains de pollen ou des racines de Phané-

⁽¹⁾ Naturw. Einführung in die Bakteriologie, 1896.

⁽²⁾ Berichte Bot. Gesellschaft, Bd XIX, 1901, p. 461.

rogames soient des réactifs plus sensibles que les embryons végétaux ou la semence entière, mais il se peut aussi que la non excitation observée par nous est due à la nature du sel employé, à sa pureté notamment.

Ainsi, au début de nos recherches, ayant expérimenté avec des *sels de Cuivre du commerce* nous avons constaté que les embryons de Maïs et de Radis, gonflés pendant 6 à 12 heures, dans des solutions de CuSO_4 à 0,000001 %, germent plus vite que les embryons gonflés pendant le même temps dans l'eau pure. Mais ayant répété la même expérience avec une solution de même concentration mais provenant d'un sulfate de Cuivre fourni par une autre maison, nous n'avons plus observé d'effets identiques.

Les sels de Cuivre du commerce sont loin de présenter une pureté chimique parfaite : le Fer, le Zinc, le Manganèse, d'autres corps encore, y sont facilement décelables, et il se peut que ces substances étrangères, quelque minime que soit leur quantité, interviennent et influencent l'évolution de la graine.

Des auteurs, Aderhold (8), Ruhland (1016), ont même cru autrefois pouvoir attribuer l'intensification de la fonction d'assimilation qu'on constate chez la feuille de la Vigne aspergée par la bouillie bordelaise, non pas au Cuivre, mais au Fer, que le vitriol de commerce contient en quantités plus ou moins abondantes.

D'autre part, les substances inertes, mélangées au sel, peuvent aussi exercer une action.

Ainsi Fitch (1) a constaté que les corps poreux (sable de mer, papier à filtre, verre pilé etc.) introduits dans des solutions antiseptiques, y favorisent la croissance des champignons (*Penicillium glaucum*, *Aspergillus niger*), et cela d'autant plus que la concentration est plus faible. L'auteur admet que les substances poreuses soustraient au sel des molécules toxiques.

Quoi qu'il en soit, nos recherches nous ont montré que les sels de Cuivre purs sont ou indifférents ou nuisibles. Au-dessous de 0,00001 % les solutions se sont montrées indifférentes pour toutes les graines (2) sur lesquelles nous avons opéré (graines, akènes,

(1) The action of insoluble substances in modifying the effect of deleterious agents upon the Fungi. (*Annales mycologiques*, III, Février 1905). Cité : *Bull. Soc. Mycol. de France*, T. XXIII, p. 250.

(2) Il va sans dire que nous ne parlons que des graines qui ont été seulement gonflées dans ces solutions et dont l'évolution a lieu ailleurs,

embryons); au-dessus, l'action devient nuisible et varie avec la concentration et la graine considérée.

Il faut aussi remarquer que, pour les solutions concentrées, la quantité du liquide qu'on met à la disposition de la graine n'a pas d'influence, mais pour des faibles dilutions le volume de la solution dans laquelle gonfle la graine est à considérer.

Ainsi en mettant dans 100 cc³ d'une solution de CuSO_4 à 0,0001 % 1 seul embryon de Maïs, ou en en mettant 10, on n'obtient pas le même effet puisqu'il semble que les embryons se partagent le métal toxique.

Avec l'augmentation de la concentration l'action nuisible croît, mais il n'y a pas de proportionnalité.

Nous avons donné des expériences qui s'y rapportent dans le paragraphe 4. Ainsi pour les embryons de Belle de Nuit un gonflement de 1 sec. à 10 min. dans la solution de 10 % est aussi nuisible que dans celle de 5 %. Les autres expériences du même § donnent un résultat identique.

Entre une solution de 1 % et de 2 % la différence de toxicité est plus grande qu'entre une solution de 5 % et de 10 %, et moins grande qu'entre une solution de 0,1 % et 0,2 %. Mais il n'y a pas de règles là-dessus, les résultats variant suivant le matériel avec lequel on opère.

Les embryons ou des graines nues semblent être plus sensibles à la variation de la concentration que les graines recouvertes des téguments ligneux, et dans tous les cas une faible augmentation de la concentration (du simple au double par exp.) affecte la puissance germinative de ces graines, plutôt que leur pouvoir germinatif. Voici quelques exemples :

	CONCENTRATION				
	CuSO_4 : 10%	5%	2%	1%	0,5%
NOMBRE DE GERMINATIONS APRÈS 16 JOURS (SUR 50)					
Soja à grains jaunes	7	9	10	12	16
Soleil de Russie	28	29	23	36	47
Citrouille de Touraine	13	14	16	19	26
Radis écarlate hâtif	5	7	11	14	21
NOMBRE DE GERMINATIONS APRÈS 4 JOURS :					
Soja	0	0	3	—	9
Soleil	0	3	11	—	20
Citrouille	0	0	4	—	10
Radis	0	0	3	—	12

Avec l'augmentation de la concentration de la solution croît la pression osmotique, et cette dernière action peut être plus nuisible à une graine telle que celle de Radis à téguments et cotylédons minces, qu'à la graine de Soleil, par exemple, qui est protégée par le péricarpe ligneux.

La pénétration d'un liquide dans une graine est réglée par la pression osmotique qui ne dépend pour un sel donné que de sa concentration (à temp. constante). Avec l'augmentation de celle-ci, la quantité du sel absorbé augmente, mais pas proportionnellement à la pression. Cela explique le fait que la toxicité des sels ne suit pas régulièrement leur concentration ⁽¹⁾.

Avec l'augmentation de la durée de l'intoxication, la résistance de la graine diminue plus rapidement qu'avec l'augmentation de la concentration. Mais la proportionnalité ne commence qu'avec un certain temps, et reste variable avec l'espèce considérée.

Ainsi (tableau I) la proportionnalité commence pour le Radis et le Soja à partir de 15 minutes, pour la Citrouille à partir de 1 heure à 3 heures, pour le Pavot à partir de 6 heures, pour le Seigle à partir de 12 heures, etc.

Avec l'augmentation de la durée de l'intoxication croît la quantité du métal fixé, et croissent aussi des actions secondaires également nuisibles. La graine se gonfle, subit des pertes par exosmose, commence à subir l'asphyxie faute d'oxygène suffisant, et commence à fermenter. Toutes ces actions se superposent.

Dans les faibles concentrations, où il faut prolonger le séjour de la graine pendant des journées entières pour obtenir des résultats appréciables, ces actions secondaires peuvent être plus nuisibles que l'action du Cuivre lui-même.

§ 10. — Comparaison entre les actions des différents sels de Cuivre.

Les différents sels de Cuivre agissent-ils tous de la même manière ? Comme expériences faites là-dessus nous ne pouvons citer que celles de Bruttini (144) et de Coupin (239).

(1) Dans les « Alkali Studies » de Buffum, Bull. n° 29 *Wyoming Exp. Stat.* on trouve des expériences faites avec NaCl pour montrer la relation entre la pression osmotique et la quantité du sel et de l'eau absorbée.

Bruttini a recherché l'action comparée sur des grains de différentes substances. 15 grains sont tenus pendant 24 heures dans des solutions de ces substances à 1 % et à 2 %, puis semés dans du sable humide.

Voici l'ordre de toxicité des substances avec lesquelles l'auteur a opéré : chlorure de Mercure, chlorure de Fer, chlorure de Platine, cyanure de Potassium, *Nitrate de Cuivre*, phosphate de Manganèse, permanganate de Baryum, chlorure de Nickel, chlorure d'Ammonium, *Sulfate de Cuivre* etc.

Le nitrate de Cuivre est donc d'après cet auteur beaucoup plus toxique que le sulfate.

Voici, d'autre part, les valeurs obtenues par Coupin, pour les *Equivalents toxiques*, c'est-à-dire le poids minimum des sels qui, dissout dans 100 parties d'eau, est mortel pour des plantules :

CuBr_2	0,004875
CuCl^2	0,005000
CuSO^4	0,005555
$\text{Cu}(\text{C}^2\text{H}^3\text{O}^2)^2$	0,005714
$\text{Cu}(\text{AzO}^3)^2$	0,006102

L'auteur remarque que tous ces nombres sont très voisins les uns des autres, et que les différences infinitésimales peuvent provenir des impuretés.

Si on calcule pour des solutions également étendues des différents sels de Cuivre leur concentration en Cuivre métallique, on trouve que la concentration diminue dans l'ordre suivant : CuCl^2 , $\text{Cu}(\text{CHO}^2)^2$, CuSO^4 , $\text{Cu}(\text{C}^2\text{H}^3\text{O}^2)^2$, $\text{Cu}(\text{AzO}^3)^2$.

En comparant ces calculs avec les nombres donnés par Coupin, on voit que la *toxicité des sels de Cuivre semble croître avec leur concentration en Cuivre métallique*, et aussi *suivant leur concentration moléculaire* ⁽¹⁾.

Dans nos expériences, en opérant avec des solutions de 0,1 % et de 0,5 % et en employant comme réactifs des embryons de Maïs, de Radis et de Citrouille, nous n'avons pas trouvé cette relation, et les cinq sels de Cuivre en concentration égale (en sel anhydre) se sont montrés équitoxiques.

(1) Il nous semble que cette remarque n'a pas été faite par l'auteur.

En solutions plus étendues à 0,01 % l'acétate de Cuivre et le formiate de Cuivre se sont montrés quelquefois plus faibles que les autres en ce sens que les embryons qui ont séjourné dans les solutions de ces derniers sels ont germé un peu plus vite que les embryons qui ont séjourné pendant le même temps dans les solutions de même concentration de nitrate de chlorure ou de sulfate. Cela peut provenir de ce que le formiate et l'acétate de Cuivre étant des sels d'acides faibles peuvent partiellement se décomposer sous l'action des produits de l'exosmose ; il peut se former de faibles quantités d'acides libres, qui, eux, peuvent agir sur les embryons favorablement.

On sait qu'avec l'apparition de la théorie sur la dissociation électrolytique d'Arrhenius, nombre d'auteurs ont attribué les propriétés anti-germinatives et fungicides des solutions toxiques aux seuls ions électro-positifs ou cations. Les premières études, et sur lesquelles nous ne pouvons pas insister ici, sont dues à Heald (492), Kahlenberg et True (594), et Stevens (1134). En France, citons les études de Maillard (694), Coupin (loc. cit.), Colin (224) qui attribuent également la toxicité des sels de Cuivre aux ions Cuivre et non pas aux radicaux électro-négatifs, comme l'admet Monselise (781). D'autres au contraire voient dans la toxicité d'un sel une propriété additive des 2 radicaux positifs et négatifs ensemble (Rufz de Lavisson (1015) ou admettent que chaque corps est toxique par une qualité qui lui est propre, et qui peut dépendre dans une certaine mesure de la nature de ses composants, mais ne semble pas obéir à une loi fixe (Guéguen) (1).

Dans les solutions de 0,01 % à 0,5 %, avec lesquelles nous avons opéré, la dissociation moléculaire est loin d'être complète et la molécule neutre doit prédominer le cation Cu ou les anions Cl^2 , SO^1 (Az O^3)² etc. Si la toxicité des solutions des sels de Cuivre dépendait de leur concentration en Cuivre métallique ou de la nature des radicaux électro-négatifs, on devrait obtenir des effets différents, puisque d'une part la concentration en Cuivre métallique de ces solutions est variable, d'autre part les radicaux négatifs sont d'une force différente.

On ne peut expliquer le fait que les différents sels de Cuivre

(1) *Bull. Soc. Myc. de France*, T. XV, p. 134).

agissent à concentration égale d'une manière identique, qu'en admettant que la toxicité n'est due qu'aux ions Cuivre. Toutes ces solutions d'ailleurs doivent se trouver à un degré de ionisation très rapproché, leur concentration moléculaire étant elle-même très semblable et voisine.

§ 11. — Mode d'action des sels de Cuivre.

On peut admettre, pour expliquer l'action nocive des sels de Cuivre, des actions de 2 natures : chimique et biologique.

a) ACTION CHIMIQUE. — Les diverses opinions formulées quant à cette action peuvent se résumer comme il suit :

Le poison, en s'accumulant, forme une combinaison qui élimine un corps existant dans les conditions normales. C'est ainsi que l'action nuisible se produit. L'action ne dépend pas uniquement de la nature de la substance, mais, en première ligne, des propriétés du substratum, et de l'enchaînement particulier des points d'application, et ce n'est que la structure particulière de la plante et ses propriétés qui déterminent la nature de l'action produite ⁽¹⁾.

Le métal se combine avec le protoplasme qui meurt ⁽²⁾.

Les métaux même très dilués sont saisis par les parties de la cellule végétale : parois, protoplasme et noyau. Le noyau et son nucléole deviennent plus visibles et prennent souvent un aspect spécial : une grosse vacuole apparaît et le noyau est rejeté de côté sous forme d'un croissant lenticulaire. Le protoplasme perd sa turgescence, devient sombre et granuleux (filament de Spirogyre ⁽³⁾).

Les sels de métaux lourds coagulent le protoplasme ⁽⁴⁾.

La matière albuminoïde de la graine forme avec l'oxyde de Cuivre des combinaisons insolubles ou albuminates de Cuivre qui agissent sur les corps qui se forment pendant la germination ⁽⁵⁾.

La toxicité peut aussi être due à des phénomènes d'oxydation ou de réduction.

De ce résumé succinct, il résulte que tous les auteurs cités admettent une action directe du poison sur la matière vivante.

⁽¹⁾ PFEFFER. (*Physiol. végétale*, T. II).

⁽²⁾ BOKORNY. (*Archiv. f. die gesammte Physiologie*, Bd. CX, 1905, p. 174).

⁽³⁾ DEVAUX. (*C. R.*, T. CXXXII, 1901).

⁽⁴⁾ RUFZ DE LÁVISON (*loc. cit.*)

⁽⁵⁾ RITTHAUSEN. (*Journal f. praktische Chemie*, Neue Folge, V).

Ce qui se passe dans une cellule de Spirogyre, par exemple, peut aussi se répéter dans une cellule faisant partie de l'axe embryonnaire d'une graine, mais *les actions chimiques seules ne sauraient expliquer tous les faits observés quant à l'action des sels de Cuivre sur la germination*. A côté de ces actions chimiques il y en a d'autres et qui jouent peut-être un rôle aussi important.

b) ACTION BIOLOGIQUE. — Hecke ⁽¹⁾ a tenu des spores d'*Ustilago panici-miliacei* pendant 48 heures dans le CuSO_4 à 0,5 ‰. Les spores ne germaient pas du tout ou donnaient des germinations anormales. Mais il suffisait de mettre les spores ainsi traitées pendant 5 minutes dans HCl à 0,5 ‰ pour provoquer l'extraction du Cuivre et le développement normal.

D'après Le Renard ⁽²⁾ les solutions très diluées des sels cupriques ne tuent pas la conidie de *Penicillium glaucum*. Ces solutions ne provoquent qu'un phénomène d'inhibition, et la conidie ne serait qu'un germe vivant dépourvu de l'excitation biologique indispensable au début de son développement. Des solutions, déci et centi-normales de succinate ou d'acétate de Potassium excitent et stimulent la spore et peuvent provoquer son développement.

Ces deux faits nous montrent que la non germination d'une spore n'est pas la preuve qu'elle a été tuée par le Cuivre.

Nous avons aussi démontré qu'il en est de même avec les graines. *Après l'intoxication cuprique les semences d'Avoine, de Blé, de Citrouille se refusant à germer, ont repris leur développement dès qu'elles ont été débarrassées de leurs enveloppes qui ont emmagasiné le Cuivre.*

Hecke a enlevé le Cuivre qui s'est concentré dans la cuticule de la spore par l'action de HCl ; nous l'avons enlevé mécaniquement, le résultat est le même : réapparition de la possibilité de la vie manifestée.

On peut, comme nous l'avons déjà fait, expliquer ce fait par l'impossibilité pour la radicule de traverser l'enveloppe qui a concentré le Cuivre, mais on peut aussi y voir l'effet d'une autre nature.

Pour la graine toute manifestation vitale est liée avec l'activité diastasique. En supprimant cette dernière, la graine entre dans un

⁽¹⁾ *Beizversuche zur Verhütung des Hirsebrändes*, Wien, 1902.

⁽²⁾ *C. R. Ac. Sc.*, T. GXXXXIII, p. 604.

état d'inhibition, dans un état anesthésique. Or, les sels de Cuivre semblent avoir sur quelques diastases une action très énergique. Effront (312) a constaté cette action nuisible sur l'amylase. Ewert (324) a montré qu'en présence d'une goutte de CuSO_4 contenant 0,00000051 de Cuivre après $1^{\text{h}}20$ d'action, l'amidon reste encore bleu en présence d'une goutte d'une solution de iode et de diastase du commerce.

Le Cuivre en agissant sur l'activité diastasique peut empêcher la germination de la graine. Ce n'est qu'une hypothèse, mais quelques faits le démontrent.

Ainsi, en suivant Hecke, nous avons soumis des embryons à l'action de faibles concentrations de HCl.

Des embryons de Radis tenus 5 minutes dans une solution de CuSO_4 à 0,3 % et ensuite pendant 10 minutes dans une solution de HCl à 0,1 % ont donné plus de germinations que les embryons qui ont été tenus dans la solution toxique seule.

Le même effet a été provoqué par HCl à 0,2 % sur des graines de Soja traitées par le CuSO_4 pendant 15 minutes.

Mais toutes nos recherches ne nous ont pas donné des résultats positifs. Il faut faire varier la concentration de HCl et la durée de son action avec la variation du séjour de la graine dans la solution toxique, et avec la nature de la graine elle-même. Il est possible que d'autres substances que HCl produisent des effets analogues.

En extrayant le Cuivre ou en éloignant les enveloppes extérieures des graines, balles ou péricarpes qui ont concentré le Cuivre on rend leur activité possible aux diastases et on provoque ainsi le développement de la graine.

Si la toxicité des sels de Cuivre n'était due qu'à des actions chimiques de combinaison, de réduction ou d'oxydation, et qui ont lieu au cours même du traitement, il est peu probable que l'acide chlorhydrique atténuerait les effets.

Selon nous, le Cuivre peut agir comme anesthésique en arrêtant l'activité diastasique de la graine.

En partant de ce point de vue, nos recherches continuées pourraient sans doute élucider en partie le mécanisme de l'action toxique du Cuivre sur la cellule vivante.

Dans tous les cas le Cuivre peut paralyser et comme anesthésier la semence, sans la tuer. Il joue le rôle de substance empêchant les manifestations de l'activité germinative.

CONCLUSIONS

En récapitulant les faits cités dans les divers chapitres, on peut tirer les conclusions suivantes :

1) La sensibilité des graines vis-à-vis des sels de Cuivre dépend surtout de la position de l'axe embryonnaire, de son agencement avec les téguments. Les graines chez lesquelles l'axe embryonnaire est libre (Radis, Chanvre) sont moins résistantes que les graines dont l'axe embryonnaire est inclus dans les tissus des cotylédons (céréales p. e.).

2) Les embryons des graines d'une même famille ont sensiblement la même résistance.

3) Le tégument séminal assure à la graine contre l'action du Cuivre une protection efficace, mais variable avec l'espèce considérée. Le degré de cette protection dépend de la nature du tégument et de sa structure anatomique.

4) Les balles et les péricarpes n'augmentent pas la résistance de la graine vis-à-vis du Cuivre ; en se gorgeant du métal, ils empêchent la radicule de se développer et d'apparaître à l'extérieur.

5) La composition chimique de la graine, son poids, sa taille, la sensibilité spécifique de l'embryon, n'influencent pas la résistance que la semence oppose à l'action du Cuivre ; cette résistance ne dépend que de la nature des téguments.

6) Les semences qui appartiennent à des espèces différentes doivent leur résistance spécifique uniquement à la nature de leurs téguments.

7) Les semences d'une même espèce, mais de variétés différentes, montrent vis-à-vis du traitement cuivrique une résistance très variable, qui n'est due qu'à la structure de leurs téguments.

8) Les blessures et les mutilations diminuent la résistance de la semence vis-à-vis du Cuivre. Les lésions sont surtout dangereuses lorsqu'elles concernent l'axe embryonnaire.

9) La conservation de la semence après le traitement au Cuivre n'est pas nuisible, si elle a été préalablement desséchée. La conservation de la semence mouillée réduit son pouvoir germinatif à un haut degré qui dépend de la durée de la conservation.

10) Le dessèchement ou l'étuvage des graines avant le traitement cuivrique est moins nuisible pour les grains vêtus.

11) Le gonflement préalable des semences dans l'eau avant leur traitement au Cuivre est très nuisible.

12) Dans l'action que les sels de Cuivre exercent sur la germination de la graine, un rôle indirect et nuisible est joué par les moisissures.

13) La germination des semences traitées au Cuivre peut être influencée par le milieu de culture. Les semences qui sont des akènes ou des caryopses germent plus facilement sur terre de jardin que sur des milieux artificiels.

14) Avec l'augmentation de la température de la solution toxique, croît son effet nuisible. Les semences-graines sont plus affectées par l'élévation de la température, que les semences-akènes ou les semences qui sont des caryopses.

15) Avec l'augmentation de la durée de séjour de la graine dans la solution toxique son pouvoir germinatif et sa puissance germinative diminuent, et plus rapidement qu'avec l'augmentation de la concentration du liquide.

16) Tous les sels de Cuivre à concentration égale produisent une action identique, due au ion Cu .

17) L'action nuisible des sels de Cuivre sur la germination des semences peut être due, d'une part, à des effets chimiques, d'autre part à des actions biologiques, par exemple à l'arrêt de l'activité diastasique.

Nos expériences montrent aussi que le traitement cuivrique, qui jusqu'ici n'a été appliqué qu'aux grains des Céréales, peut aussi être employé pour une foule d'autres semences. Les semences de Lin, par exemple, de Cotonnier, de Soleil ou de Betterave résistent

comparativement mieux que les grains de Céréales aux sels de Cuivre, et il est possible que ceux-ci puissent être utilisés pour débarasser les semences de Lin des spores de *Fusarium Lini*, les akènes de Soleil des germes de *Puccinia Helianthi*, ou les akènes de Coton ou de Betterave des corpuscules reproducteurs de *Neocosmospora vasinfecta* et de *Cercospora beticola*.

Le traitement cuivrique, en tant qu'anticroptogamique, a rendu à l'Agriculture des services énormes, mais nous verrons qu'il présente aussi des inconvénients et même des dangers.

DEUXIÈME PARTIE

INFLUENCE DE L'INTOXICATION CUIVRIQUE SUR LE MAÏS EN VÉGÉTATION ET SUR SA DESCENDANCE

EXPÉRIENCES DE 1914

MÉTHODE D'EXPÉRIMENTATION. — Nous avons d'une part opéré avec des grains intacts et d'autre part avec des grains blessés, ou mutilés, ou extégumentés à dessein, pour provoquer un contact plus intime de l'albumen et de la substance toxique.

144 caryopses semblables comme poids, forme et coloration, appartenant à la variété dite « Maïs King Philip Blanc » (*Zea Mâis* L.) ⁽¹⁾ ont été gonflés pendant 12 heures dans de l'eau distillée dans un appareil de verre. Après les avoir essuyés sur du papier filtre, on les a rangés en 4 lots égaux.

Les grains du 1^{er} lot ont été laissés tels quels (grains intacts); les grains du 2^{me} lot ont été privés de leur tégument (grains extégumentés); à chaque grain du 3^{me} lot on a enlevé la moitié de son endosperme ⁽²⁾, (grains mutilés) et chaque grain du 4^{me} lot a reçu une blessure mettant à nu son embryon, sans le toucher (grains blessés).

Ceci fait, les grains ont été mis à gonfler pendant un temps variant de 1 heure à 24 heures dans des solutions aqueuses de CuSO_4 à 1 % ou à 2 % que nous avons préparées pures, en partant du Cuivre électrolytique. Chaque lot a reçu un traitement identique et un certain nombre de grains ont été laissés comme témoins.

(1) Il est à noter qu'à Nancy où ces expériences ont eu lieu, nous nous trouvons en dehors de la zone visant à la production du grain de Maïs et qu'on n'en récolte pas chaque année au Jardin Botanique de cette ville.

(2) L'ablation de cette partie de l'endosperme ne peut par elle influencer en rien le développement ultérieur du grain. Même l'ablation entière de la réserve externe n'empêche pas la production des plantes fertiles donnant des grains normaux et sains (E. Gain et Jungelson. — Sur les grains de Maïs issus de la végétation d'embryons libres. — *C. R. Ac. Sc.*, T. CLX, p. 142, 1915.

Après ce traitement, les grains ont été lavés à l'eau froide, desséchés pendant 24 heures sur du papier-filtre et mis à germer dans des godets placés sur couche. Les godets étaient remplis d'un mélange de terre de bruyère, de terre franche et de fumier. On donnait chaque jour un arrosage uniforme.

Lorsque les jeunes germinations eurent atteint une vigueur suffisante, elles furent transportées sur le terrain d'expériences et repiquées de 40 cm. en 40 cm. sur une terre de jardin labourée et sarclée (¹).

En tout furent repiquées 75 plantes, dont 15 provenant des grains témoins et 60 des grains traités, à raison de 15 plantes pour chacun des groupes considérés (grains blessés, extégumentés, intacts ou mutilés).

Le semis sur couche a eu lieu le 5 mai, le repiquage le 30 du même mois. Les soins nécessaires furent donnés pendant toute la durée de la végétation : arrosages, sarclages, buttages.

§ 1. — Caractères végétatifs.

Sur les 114 caryopses mis à germer, 115 seulement ont levé. N'ont pas donné de germinations : 14 grains blessés et 15 grains mutilés ayant séjourné dans les solutions de CuSO_4 à 1 % et à 2 % pendant 6 à 24 heures.

Le fait que ces grains n'ont pas levé, ne montre, d'ailleurs, nullement qu'ils ont été tués par l'absorption du Cuivre. L'intoxication cuprique a pour résultat immédiat l'affaiblissement des forces vitales de la graine et dans la lutte avec les moisissures du sol, la graine germée peut être désagrégée avant de lever.

Nous signalons ce fait, parce que le mécanisme de l'action des sels de Cuivre sur la matière vivante n'est pas du tout élucidée et rien ne prouve que, dans la complexité du phénomène que constitue une intoxication, les réactions provoquées par les microorganismes ne soient pas des facteurs importants influençant l'évolution de la plante.

(¹) Les expériences faites en 1913 ont montré que les grains blessés ou mutilés semés en plein sol ne résistent pas aux agents destructeurs (flore bactérienne, variations trop brusques des conditions atmosphériques, etc.) et ne lèvent presque pas. Sur la couche, où la germination se fait plus rapidement, l'influence de ces facteurs nuisibles est sensiblement atténuée.

Bréal et Giustiniani dans une série d'artifices ⁽¹⁾ ont émis une opinion toute différente de la nôtre. Ces auteurs voient dans le traitement cuivrique de la semence un moyen d'augmenter la récolte et cela, entre autres, par le fait que les grains traités résistent plus à l'action des organismes inférieurs. C'est là une opinion que nos cultures, soit dans l'étuve, soit dans le sol stérilisé, n'ont pas vérifié.

On sait, d'ailleurs ⁽²⁾, que la matière organique imprégnée des sels de Cuivre est un milieu où certains microorganismes pullulent d'une façon extraordinaire.

Les grains non traités ont commencé à lever le 10 mai, c'est-à-dire le sixième jour après le semis. Le 12 mai il n'y avait pas encore de levées parmi les grains intoxiqués, tandis que la totalité des grains-témoins avaient déjà percé la surface du sol. Le 13 mai les levées devinrent plus intenses et au cours de la journée de nombreuses germinations apparurent parmi les grains traités intacts et extéguementés.

Les grains intoxiqués mutilés et blessés n'ont commencé à lever que le 16 mai et des germinations apparaissaient encore le 21 et le 22, montrant ainsi un retard de plus de 15 jours par rapport aux grains-témoins correspondants.

La puissance germinative des grains fut donc influencée par le traitement cuivrique et d'autant plus que le contact du toxique et de l'embryon a été plus intime, puisque les grains blessés et mutilés ont germé les derniers.

L'affaiblissement de la puissance germinative des grains intoxiqués influence leur développement ultérieur et les plantules qui en proviennent se distinguent des plantules-témoins par une évolution plus lente et moins régulière.

Le premier organe aérien du Maïs est une gaine tubulée taillée en biseau : du sein de cette gaine apparaît bientôt une feuille enroulée sur elle-même dans le sens de la longueur ; celle-ci s'étale

⁽¹⁾ BRÉAL et GIUSTINIANI. Un nouveau traitement de la semence. (*C. R. Ac. Sc.*, T. CXLII, p. 904, 1906 ; T. CXXXIX, p. 554, 1904. — *Journal d'Agric. Pratique*, Nouv. Ser., T. VIII, 1904).

⁽²⁾ PULST (*Jahrb. f. Wissensch. Bot.*, Bd. LXXIII, 1902) ; de SEYNES (*Bull. de la Soc. Bot. de France*, 1895, p. 451) ; TRABUT (*Ibid.*, 1895, p. 33) ; GUÉGUEN (*Bull. de la Soc. Mycol. de France*, T. XI, 1899) ; JAEGER (*Flora*, 1843, p. 486) ; CHATIN (*Ibid.*, 1875, p. 214) ; PREUSS (*Bot. Ztg.*, 1848, p. 409) ; CLARK (*Bot. Gazette*, 1899, p. 393).

et est suivie de l'apparition d'une seconde feuille enroulée qui s'étale à son tour et ainsi de suite.

Voici quelques données concernant l'état de la partie aérienne des plantules 23 jours après le semis :

PLANTULES ISSUES

Des grains intacts traités pendant 24 ^h à 2‰ :				une feuille enroulée, 2 étalées ;
—	blessés	—	—	: pas de feuilles, une gaine tubulée ;
—	mutilés	—	—	: Idem ;
—	extégumentés	—	—	: une feuille enroulée, 1 étalée ;
—	intacts traités pendant 6 ^h à 1‰ :	une feuille enroulée, 3 étalées ;		
—	blessés	—	—	: une feuille enroulée ;
—	extégumentés	—	—	: une feuille enroulée, 2 étalées ;
—	mutilés	—	—	: 2 feuilles étalées ;
—	non intoxiqués ⁽¹⁾	—	—	: 4 feuilles étalées, 1 enroulée ;

Signalons aussi que les feuilles des plantules, issues des grains intoxiqués ont souvent le sommet fendu, les bords desséchés et sont sillonnées longitudinalement d'une raie bleuâtre, qui, d'après Porchet, Simon ⁽²⁾ serait due à une altération chlorophyllienne provoquée par le Cuivre.

La diminution de la surface foliaire influence l'accroissement de la plante tout entière et pendant un certain temps les plantes issues des grains sulfatés se distinguent des plantes-témoins par une taille plus petite, un diamètre de tige plus faible, et un plus petit nombre de feuilles et d'entrenœuds.

Cette réduction des différents organes de l'appareil végétatif ne suit pas régulièrement les oscillations du degré de l'intoxication subie par la graine, mais c'est toujours parmi les plantes issues des grains les plus intoxiqués que les réductions sont les plus importantes.

D'autre part, la différence entre les Maïs provenant des grains-témoins, et ceux issus des grains traités, est surtout accentuée au début de la végétation, mais à mesure que l'évolution se poursuit les différences s'atténuent et commencent à disparaître à l'époque où se

(1) Le traitement mécanique n'a exercé par lui seul aucune influence et les plantules issues de grains soit intacts, soit blessés, mutilés ou extégumentés ne se distinguaient en rien les unes des autres ; nous les mettons dans le même groupe.

(2) PORCHET. Action des sels de Cuivre sur la végétation, Lausanne, 1904.

SIMON. Ueber d. Einwirkung eines verschiedenen Kupfergehalte, im Boden auf Wachstum der Pflanzen. (*Landw. Versuchstat.*, T. XLII, 1896,

montrent les stigmates des inflorescences femelles, époque qui coïncide avec une grande énergie d'assimilation.

Il est possible que l'aspect rabougri des plantes au début de leur évolution soit dû dans une certaine mesure au mauvais développement de leurs racines, puisqu'on sait que le système racinaire des grains ayant séjourné dans des solutions cuivriques est partiellement atrophié, et que la gemmule apparaît même parfois avant la radicule (¹).

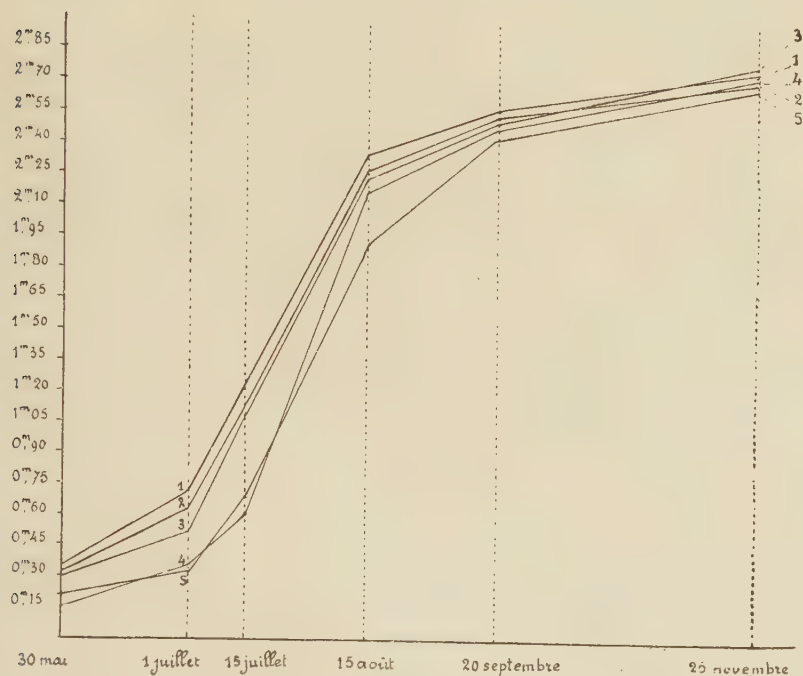


Fig. 1. — Variation de la hauteur moyenne des plantes à différentes époques de la végétation.

1 : plantes-témoins ; 2 : plantes issues des grains intacts et intoxiqués ; 3 : plantes issues des grains extégumentés et intoxiqués ; 4 : plantes issues des grains mutilés et intoxiqués ; 5 : plantes issues des grains blessés et intoxiqués.

(¹) NOBBE. — Handbuch d. Samenkunde, 1876 ; JACZEWSKI. — Phytopathologie 1910, Pétersbourg ; KRASTING. — Influence de CuSO_4 sur la germination du Maïs. — Agriculture et Sylviculture 1896, Pétersbourg ; DEMOUSSY. — Annales Agronomiques, T. XXVII, 1901.

La Fig. 1 montre la variation de la hauteur moyenne des plantes à différentes époques de la végétation : lors du repiquage (30 mai) ; avant la floraison ; commencement de la floraison (15 juillet) ; apparition des stigmates (16 août) ; récolte (25 novembre).

FLORAISON. — Les fleurs mâles de Maïs commencent à se développer dès que la plante atteint une trentaine de centimètres, mais elles restent cachées dans l'intérieur du cône des feuilles qui termine la plante, et n'apparaissent dehors que vers mi-juillet, sous forme de panicules serrées les unes contre les autres.

Pendant un certain temps le pédoncule floral s'allonge et les panicules finissent par s'étaler en un éventail couronnant la plante ; l'épanouissement coïncide avec la maturité du pollen.

Entre l'apparition de la panicule et son épanouissement il peut s'écouler de 2 à 4 semaines et il est intéressant de constater que cette intervalle suit régulièrement le degré de l'intoxication subie par la graine-souche. L'apparition même des panicules n'est pas retardée, et quelques-uns des Maïs, issus des grains traités, ont montré leurs inflorescences mâles avant même que ces dernières soient apparues sur les plantes-témoins, mais leur épanouissement est lent à se produire et le retard est d'autant plus accentué que le développement végétatif de la plante est moins avancé.

Voici quelques données :

TABLEAU I

ORIGINE DES PLANTES	DURÉE DU TRAITEMENT (CuSO ₄ à 1%).	Dates de l'apparition DES PANICULES	Dates de l'épanouissement DES PANICULES
Grains intacts.....	1 ^h à 6 ^h	18 au 24 juillet	28 juill. au 12 août
— extégumentés.....	—	17 au 24 —	1 ^{er} août au 15 —
— blessés.....	—	18 au 23 —	5 août au 21 —
— mutilés.....	—	16 au 21 —	2 — au 20 —
— intacts.....	12 ^h à 24 ^h	17 au 24 —	1 — au 16 —
— extégumentés.....	—	17 au 22 —	30 juill. au 16 —
— blessés.....	—	19 au 23 —	8 août au 23 —
— mutilés.....	—	16 au 24 —	9 août au 21 —
— non traités...		17 au 22 —	26 juill. au 9 —

Le traitement cuivrique de la semence, en retardant l'évolution de la plante, a donc aussi retardé la maturité du pollen.

En ce qui concerne les inflorescences femelles, les observations que nous avons faites sont difficiles à interpréter. L'évolution de ces inflorescences a lieu dans l'intérieur d'une gaine protectrice et le seul caractère extérieur est l'apparition des stigmates sous forme d'une houe de fils argentés. Mais sur le même pied un des épis peut montrer ses stigmates peu après l'apparition des panicules mâles, tandis que les autres n'en possèdent pas encore après que ces dernières se sont déjà épanouies.

L'apparition des stigmates n'est pas d'ailleurs un signe de fécondation des ovules et il y a des auteurs qui admettent qu'elle peut se produire avant même que la pollinisation soit effectuée ⁽¹⁾.

En tout cas il serait logique d'admettre qu'il existe une certaine corrélation entre le développement des fleurs des deux sexes, et qu'un retard dans la maturité du pollen entraîne aussi une maturité tardive des ovules.

En résumé, le traitement cuivrique de la semence a retardé le développement végétatif et de reproduction des Maïs et le retard est plus accentué chez les plantes issues des grains mutilés et blessés, sans doute parce que chez ces derniers la pénétration du Cuivre s'est trouvée facilitée.

§ 2. — Etude des épis.

Le nombre total des épis récoltés sur les 75 pieds est de 179. On peut, d'après leur conformation, les classer dans les 11 groupes suivants :

I. *Épis cylindriques à rangées parallèles* (61 spécimens). C'est l'épi type de la race considérée. Le rachis, d'une forme cylindrique, est couvert de rangées de grains droites et parallèles. Le nombre de ces rangées est de 12 ou de 8, rarement de 10. Les grains serrés les uns contre les autres sont homogènes et d'une forme régulière. La longueur varie entre 15 cm. et 21 cm (Phot. 1).

II. *Épis cylindriques à rangées spiralées* (37 spécimens). Le rachis est cylindrique, mais les grains s'enfilent en spirales et se confon-

(1) D'après FRUWIRTH. Die Züchtung d. landw. Kulturpflanzen, Band II.

dent vers les deux extrémités. Les grains sont peu homogènes et laissent entre eux des intervalles. La longueur de ces épis est de 15 cm. à 19 cm.

III. *Épis coniques* (44 spécimens). Le rachis s'amincit progressivement de la base vers le sommet. Les rangées de grains qui sont droites et parallèles vers le bas deviennent spirales et se confondent vers le haut. Le sommet de ces épis est partiellement dégarni. Longueur : 15 cm. à 21 cm.

IV. *Épis à rachis torsionné* (3 spécimens). Le rachis conique présente dans sa partie supérieure une torsion prononcée. Les rangées de grains sont entremêlées et imbriquées les unes dans les autres. Une des faces de l'épi est plus garnie de grains que l'autre. Les grains sont très hétérogènes. Longueur 14 cm. à 18 cm. (Phot. 2).

V. *Épis cylindro-prismatiques* (2 spécimens). Le rachis, d'une forme cylindrique, est sillonné depuis la base jusqu'au tiers supérieur par 4 gouttières prononcées, provoquées par l'avortement de rangées entières de grains. Les rangées ainsi dégarnies communiquent à l'épi un faciès cylindro-prismatique. Les grains sont lourds, bombés : ceux qui se trouvent dans le voisinage des gouttières sont revêtus partiellement d'une espèce de tunique membraneuse. Le bas et le sommet de l'épi sont dégarnis. Longueur 14 cm. à 17 cm. (Phot. 3).

VI. *Épis pyriformes* (4 spécimens). Le rachis est bombé dans sa partie inférieure et effilé vers le haut. Le sommet est incliné. Les rangées de grains forment des lignes convexes et se confondent. Les grains sont bombés. Longueur moyenne 10 cm. Le poids total de l'épi (rachis compris) ne dépasse pas 40 grammes (Phot. 4).

VII. *Épis nains* (3 spécimens). Le rachis est ovale. La taille de l'épi ne dépasse pas 5 cm. et une de ses faces est dégarnie. Les grains sont d'une forme irrégulière et très serrés les uns contre les autres ; leur nombre ne dépasse pas une quarantaine. Poids moyen de l'épi (rachis compris) 15 grammes (Phot. 5).

VIII. *Épis arqués* (5 spécimens). Le rachis conique ou effilé à ses 2 extrémités, présente une forte flexion lui communiquant l'aspect d'un croissant. Le sommet est dégarni. Les grains sont bombés et

d'une couleur très pâle. La compacité des rangées est faible. Longueur 14 cm. à 22 cm. (Phot. 6).

IX. *Épis ébréchés* (4 spécimens). Les grains au lieu d'être disposés sur le rachis en rangées sont disséminés sans aucun ordre. Les grains sont très légers. Longueur moyenne : 13 cm. (Phot. 7).

X. *Épis stériles* (3 spécimens). Le rachis sans forme déterminée est couvert de grains stériles. La longueur de l'épi ne dépasse pas 10 cm. (Phot. 8).

XI. *Épis androgynes* (13 spécimens). Les grains sont entremêlés avec des fleurs mâles. Celles-ci sont ou localisées sur un axe terminal ou sont disséminées sur le rachis en groupes plus ou moins compacts. Le rachis est cylindrique ou conique. Quelques-uns de ces épis sont sillonnés de gouttières au voisinage desquelles les grains sont revêtus d'une tunique membraneuse (Phot. 9).

Le tableau II donne la répartition de ces épis suivant les plantes qui les ont produits.

On constate, tout d'abord, que seules les plantes issues des grains intoxiqués ont donné des épis du type IV-XI tandis que les plantes-témoins n'ont donné que des épis coniques et cylindriques à rangées parallèles ou à rangées spiralées.

Ces derniers épis sont d'ailleurs les seuls que donnent ordinairement le Maïs King Philip et l'apparition dans nos cultures de ces épis anormaux, androgynes, ébréchés etc. ne peut être attribuée qu'à des conditions spéciales dans lesquelles a évolué la plante qui leur a donné naissance, conditions provoquées par le traitement cuivrique de la semence.

Nous ne voulons nullement dire par cela que ces épis sont des produits spécifiques de l'action du Cuivre, nous constatons seulement qu'il y a une relation de cause à effet entre l'apparition de ces épis anormaux et le traitement cuivrique de la semence, puisqu'ils ont été produits uniquement par les grains soumis à ce traitement.

TABLEAU II

PROVENANCE DES PLANTES	DURÉE DE L'INTOXICATION (CuSO ⁴ 1°/o à 2°/o)	NOMBRE TOTAL DES ÉPIS	TYPE DES ÉPIS											Pourcentage DES ÉPIS ANORMAUX
			I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	
Grains blessés	1 ^h à 12 ^h	13	2	3	5	—	—	—	—	—	—	—	3	23,1°/o
	12 ^h à 24 ^h	14 } 27	2	5	—	—	—	1	1	2	1	—	2	50°/o
Grains mutilés	1 ^h à 12 ^h	17	4	3	5	—	—	—	—	—	3	2	—	29,4°/o
	12 ^h à 24 ^h	14 } 31	2	2	4	—	—	2	1	2	—	—	1	42,8°/o
Grains extéguement.	1 ^h à 12 ^h	23	2	12	5	—	—	—	—	—	—	—	4	17,3°/o
	12 ^h à 24 ^h	22 } 45	7	5	5	1	1	1	1	1	—	—	—	22,5°/o
Grains intacts	1 ^h à 12 ^h	23	6	5	9	1	1	—	—	—	—	1	—	13,0°/o
	12 ^h à 24 ^h	24 } 47	8	6	6	1	—	—	—	—	—	—	3	16,6°/o
Grains témoins	—	29	18	6	5	—	—	—	—	—	—	—	—	0

On sait, en effet, que des épis anormaux et du type que nous avons obtenu apparaissent parfois même dans les cultures spontanément ⁽¹⁾ et que leur apparition peut aussi être provoquée par des processus expérimentaux différents des nôtres.

Ainsi Blaringhem ⁽²⁾ a obtenu des épis androgynes et ébréchés, non pas à la suite d'une intoxication chimique, mais par des procédés mécaniques en soumettant la plante à une mutilation violente exécutée à une époque de végétation convenable.

Mazé et Perrier ⁽³⁾, Knop ⁽⁴⁾ ont obtenu des épis présentant une métamorphose partielle des fleurs femelles en mâles en cultivant le Maïs dans des solutions nutritives.

L'apparition spontanée de ces épis androgynes est d'ailleurs très

⁽¹⁾ L'apparition des épis ébréchés est déjà signalée par DUCHESNE (Traité de Maïs, 1833) de même que MOQUIN-TANDON (Traité de Tératologie) signale les épis à gouttières.

⁽²⁾ BLARINGHEM. Mutations et traumatismes, 1907.

⁽³⁾ MAZÉ et PERRIER. *Annales de l'Institut Pasteur*, T. XVIII, p. 721.

⁽⁴⁾ KNOP. *Berichte d. Königl. Sachs. Gesellsch. d. Wissenschaft*, 1878.

fréquente, et diverses opinions ont été émises quant à la cause qui la provoque.

Gagnepain ⁽¹⁾ attribue la formation de ces épis à des chaleurs ou sécheresses excessives, tandis que Gallardo ⁽²⁾ y voit l'effet des gelées. D'autres attribuent leur formation soit à l'humidité (Müller) ⁽³⁾, soit à un excès ou à un défaut d'alimentation (Blaringhem, Cugini ⁽⁴⁾ soit même à l'action des champignons (Chiffot) ⁽⁵⁾.

Malgré cette diversité d'opinions, on voit que tous les auteurs cités attribuent l'apparition de l'androgynie à des facteurs susceptibles de mettre la plante dans un état maladif, et cela par le fait d'une nutrition défectueuse.

L'apparition des formes aberrantes à la suite d'une nutrition troublée est d'ailleurs assez fréquente dans le règne animal (Herbst, Davenport) ⁽⁶⁾.

Or, les troubles dans la nutrition peuvent aussi être provoqués par des influences chimiques et nous l'avons même constaté par le fait que les grains, soumis à l'intoxication par le Cuivre, germent d'une manière anormale et donnent des plantules rabougries à développement ralenti.

On voit, dans une certaine mesure, la preuve de cette action pathogénique du Cuivre dans le fait même que les mêmes anomalies que nous avons obtenues par l'introduction dans la graine du toxique, ont été aussi obtenues par la mutilation violente de la plante, c'est-à-dire par un procédé mettant la plante dans un état pathologique manifeste.

Les cellules végétales sont d'ailleurs d'une sensibilité extraordinaire vis-à-vis du Cuivre et il suffirait que des quantités infinitésimales soient entraînées par la croissance de la tigelle dans l'intérieur de la plante pour que des actions perturbatrices prennent naissance.

(1) GAGNEPAIN. *Bull. Soc. Bot. France*, T. XL, p. 311.

(2) GALLARDO. *Anales del Museo nacional de Buenos-Aires*, T. I, N° 8, p. 525.

(3) MÜLLER. *Bot. Zeitung*, 1^{er} octobre 1858.

(4) CUGINI. *Nuovo Giornale botan. italiano*, Vol. XII, p. 247.

(5) CHIFFLOT. Sur la castration thygène chez *Zea Mals* produite par *Ustilago Maidis*. (*C. R. Ac. Sc.*, 1909, I sem.. p. 421.

(6) C. HERBST. *Archif. Entwicklungsmechanik d. Organismen*, 1897,

DAVENPORT. Effect of chemical agents upon growth. (*Experim. Morphologie*, T. II).

Le fait que les Maïs, comme le montre le tableau II, ont donné d'autant plus facilement des épis anormaux que l'intoxication a été poussée plus loin (augmentation de la durée de l'intoxication, contact plus intime du toxique et de l'albumen) est une autre preuve de relation directe entre l'action du Cuivre et l'apparition de formes aberrantes.

Ainsi, l'intoxication initiale de la semence a conféré à la plante un état spécial, une aptitude à produire de nouvelles formes.

Ce qui caractérise ces épis anormaux, c'est leur dysymétrie, la désharmonie de leur développement. On aurait dit que le courant nourricier, au lieu de se répandre dans l'épi uniformément, suit un chemin de hasard et provoque ainsi le développement inégal de ses différentes parties, d'où la formation de ces épis torsionnés, ébréchés ou à gouttières.

La formation des épis à gouttières est caractéristique pour cette nutrition désordonnée. Considérons, par exemple, un rachis cylindrique couvert de 12 rangées d'ovules uniformes. Supposons que le courant nourricier, au lieu de se répandre sur toute l'étendue du rachis, ne se dirige que vers 4 directions correspondant à 4 doubles rangées d'ovules et laissent ainsi entre chacune des 2 doubles rangées une rangée non arrosée. Il en résulte que lors de la transformation des ovules en grains, cette dernière rangée subira une pression bilatérale par le fait du développement excessif des rangées voisines et sera éliminée en laissant à sa place une échancrure en forme de gouttière. Tel est le mode probable de formation des épis cylindro-prismatiques à gouttières.

Ce mode de formation des gouttières, par le fait de l'inégale répartition de l'aliment dans l'épi, est confirmé d'une part par la grosseur et le poids démesuré des grains dans le voisinage des gouttières, et d'autre part par la présence à la base de ces grains d'une tunique membraneuse.

Cette tunique n'est autre chose que la membrane qui tapisse l'intérieur de l'alvéole dans laquelle est placée la graine et qu'on considère généralement comme des glumes avortées. La membrane suit dans une certaine mesure le développement de la graine, mais lorsque l'évolution de celle-ci est normale, elle reste localisée dans l'alvéole et n'apparaît pas dehors. Si, au contraire, la graine prend un volume excessif, la membrane est distendue et entraînée hors de

l'alvéole, où elle se déchire souvent du côté de la gouttière où la pression exercée sur elle par la graine n'est pas contrebalancée ⁽¹⁾.

Les plantes issues des grains soumis au traitement cuivrique ont produit, comme le montre le tableau II, non seulement des épis insolites, mais aussi des épis d'une apparence normale, cylindriques ou coniques, tels qu'ils ont été produits par les plantes-témoins.

La conformation typique des épis de Mais King Philip Blanc est réalisée par un rachis cylindrique couvert de rangées de grains droites et parallèles, et c'est cette disposition qui assure le maximum de rendement et le plus d'homogénéité de la graine. Les plantes-témoins elles mêmes n'ont pas produit en totalité de ces épis typiques, et ont aussi donné des épis qui s'en distinguent soit par la forme, soit par la disposition des rangées. Mais si on recherche le nombre de ces épis-types produits par chacun des groupes des plantes, on constate que ces plantes issues des grains non intoxiqués en ont donné 18 soit 62 %, tandis que celles provenant des grains traités n'en ont donné que 4, 6, 9, 14 soit respectivement 15 %, 19 %, 20 % et 30 % (Tableau II).

Cet écart de l'épi du type normal tire son importance du fait que le changement imprimé à l'épi se répercute sur la conformation et la qualité du grain. Il n'y a pas de stricte relation entre la conformation de la graine et celle de l'épi, mais la graine se rapproche d'autant plus du type normal de sa race, que l'épi sur lequel elle a pris naissance s'en rapproche lui-même davantage.

On peut aussi mettre en évidence chez les épis d'apparence normale issus des grains intoxiqués, des défauts de moindre importance, en leur appliquant les procédés de mesures utilisés dans les laboratoires américains de sélection. Ces mesures concernent le rapport entre le poids des grains et celui du rachis, le rapport entre la longueur de l'épi et son périmètre transversal et enfin la compacité des rangées, c'est-à-dire le rapport entre la longueur totale de la

(1) Au sujet de l'apparition de cette tunique à la base des grains dans certains épis de Mais, MOQUIN-TANDON (*loc. cit.*) donne une toute autre explication, qu'on peut résumer comme il suit : Parmi toutes les Graminées, seul le Mais présente des fruits dépourvus de glumes et glumelles qui se sont étioilées par le fait de la culture et se trouvaient réduites à une sorte d'involucre scarieux localisé dans l'alvéole. Lorsque l'épi se développe mal, l'involucre apparaît à l'extérieur, sous forme d'une membrane foliacée imitant dans une certaine mesure le calice et les bractées des autres Graminées. C'est un retour à l'ordre primitif.

rangée et la longueur occupée par les grains seuls, puisque ceux-ci peuvent laisser entre eux des interstices, où des grains ont pu avorter.

On constate alors que la compacité des épis coniques et cylindriques provenant des semences traitées est souvent faible, et cela par le fait que le sommet et la base de ces épis sont partiellement dégarnis, indice manifeste d'un mauvais développement ; il en résulte nécessairement une diminution du poids des grains et par conséquence un rapport anormal entre celui-ci et le poids du rachis. Le rapport entre la longueur de ces épis et leur périmètre transversal s'écarte également de sa valeur normale, puisque, comme nous le verrons dans la suite, la graine longue et plate, caractéristique pour la race considérée, a fait place à des graines courtes, coniques ou bombées.

L'intoxication initiale de la semence a donc, d'une part, provoqué l'apparition des épis nettement aberrants, et d'autre part a empêché dans une certaine mesure la production des épis normaux et sains.

Quant à la puissance productive des grains sulfatés, celle-ci ne s'est pas montrée affectée par le traitement, et les plantes issues de ces grains ont fourni même un plus grand nombre d'épis et d'un poids total quelquefois supérieur à celui des épis provenant des plantes-témoins. Mais ce n'est là qu'un avantage médiocre, puisque l'augmentation de la récolte est corrélative, comme nous le verrons, de la diminution de la valeur culturale de la graine.

§ 3. — Étude des grains.

En se basant sur la conformation de la graine on peut considérer la totalité des épis récoltés comme étant garnis de grains appartenant à l'un des 9 groupes suivants :

1) Grains symétriques ⁽¹⁾ ayant la forme d'une pyramide aplatie à base convexe. Le nombre de faces est de 4 ou 6. La face à laquelle est appliquée le scutelle et celle qui lui est opposée sont au moins 2 fois plus larges que les autres. L'épaisseur maxima de la graine est inférieure ou égale à la moitié de la longueur et celle-ci

(1) La symétrie est considérée par rapport à un plan vertical passant par l'axe germinatif de l'embryon dans le sens de sa longueur.

est supérieure à la largeur. Grains homogènes de couleur blanche, d'éclat brillant. Aspect des coupes fariné et corné.

2) Grains présentant des caractères analogues à ceux décrits précédemment, mais d'une taille et d'un poids réduits de moitié.

3) Grains symétriques, plats à bords arrondis. La largeur est égale à la longueur, et elle est de 2 à 3 fois supérieure à l'épaisseur. Grains homogènes, blancs, d'un éclat brillant. Aspect des coupes surtout corné.

4) Mêmes caractères, mais la taille et le poids sont réduits.

5) Grains asymétriques, d'une forme pyramidale. Un côté du grain est plus développé que l'autre. Le nombre des faces est de 3, 5 ou 7. Le scutelle est déformé et dévié sur le côté du grain. Grains peu homogènes. Aspect corné.

6) Grains symétriques ayant la forme d'un cône à base arrondie. Longueur supérieure à la largeur de la base. Scutellum pointu et plissé. Grains homogènes, d'un faible éclat, d'aspect farineux.

7) Grains symétriques, bombés, plus larges et plus épais que longs. Scutellum réduit. Coloration blanche-pâle ou jaunâtre. Aspect des coupes fariné. Grains peu homogènes.

8) Mêmes caractères, réduction du poids et de la taille.

9) Grains composites où on retrouve toutes les formes citées. Le plus souvent la graine a la forme d'un large cône ou d'un couvercle dans la partie concave de laquelle se trouve le scutelle. Coloration blanche sale.

Ces 9 groupes de grains se distinguent les uns des autres non seulement par leur aspect extérieur, mais aussi par un ensemble de caractères plus ou moins importants.

Le tableau III montre la variation du poids individuel de ces grains et de leurs embryons, leur teneur en matière sèche et leur densité, comparativement aux mêmes caractères présentés par la semence-souche. Les analyses ont été faites sur des grains pris dans le milieu des épis, où l'homogénéité est plus grande,

TABLEAU III

CARACTÈRES :		TYPE DES GRAINES									
		Graine Souche	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Poids de la graine en grammes.	Maximum	0,372	0,381	0,240	0,470	0,314	0,385	0,308	0,512	0,300	0,612
	Minimum	0,311	0,317	0,215	0,403	0,276	0,192	0,282	0,201	0,199	0,301
	Amplitude de la variation	0,061	0,064	0,025	0,067	0,038	0,193	0,026	0,311	0,101	0,311
Fraction centésimale de la matière sèche	Maximum	87,4	87,6	87,9	87,7	87,3	87,0	86,6	86,4	86,3	86,9
	Minimum	87,2	87,5	87,6	87,5	87,0	86,1	86,0	80,0	79,2	86,0
	Amplitude de la variation	0,2	0,1	0,3	0,2	0,3	0,9	0,6	6,4	7,1	0,9
Poids sec de l'embryon en grammes.	Maximum	0,046	0,047	0,032	0,055	0,039	0,042	0,035	0,059	0,031	0,066
	Minimum	0,038	0,037	0,025	0,044	0,030	0,017	0,026	0,015	0,015	0,033
	Amplitude de la variation	0,008	0,010	0,007	0,011	0,009	0,025	0,009	0,044	0,016	0,033
Poids sec de l'embryon en % du poids sec de l'albumen	Maximum	17,7	18,0	17,3	17,6	17,7	17,1	16,9	16,8	15,7	15,4
	Minimum	17,1	17,1	15,8	16,0	15,7	13,8	16,2	8,5	9,6	11,3
	Amplitude de la variation	0,6	0,9	1,5	1,6	2,0	3,3	0,8	8,3	6,1	4,1
Densité	Maximum	1,171	1,172	1,170	1,178	1,172	1,164	1,157	1,159	1,158	1,169
	Minimum	1,169	1,168	1,164	1,169	1,168	1,160	1,153	1,150	1,151	1,157
	Amplitude de la variation	0,002	0,004	0,006	0,009	0,004	0,004	0,004	0,009	0,007	0,012

Les grains qui nous ont servi pour les semis et dont le tableau III montre les caractères appartenaient par leurs conformation et aspect aux grains des groupes 1 et 2. Mais à côté de ces grains de forme prismatique les épis de Maïs King Philip Blanc donnent aussi facilement des grains plats à bords arrondis (identiques par leur conformation aux grains des groupes 3-4) et ces 2 types peuvent coexister sur la même plante ; ce sont 2 formes morphologiquement différenciées et par la culture de l'une d'elles on obtient également l'autre.

Comme on le voit par le tableau III, seuls les grains des types 1-4, présentent les caractères moyens de la graine-souche ; les grains des types 5-9 s'en distinguent par leur densité, la teneur en matière sèche et par le rapport entre le poids de l'albumen et celui de l'embryon.

La caractéristique commune de ces derniers grains est leur hétérogénéité, et quel que soit le caractère qu'on considère, on trouve toujours des fluctuations beaucoup plus larges que chez les grains des types 1-4. Ainsi en considérant le poids individuel des grains pris dans le milieu de l'épi et côte à côte on constate que tandis que l'amplitude de variation pour le poids des grains des groupes 1-4 est exprimée par 0,067 au maximum, elle est de 0,101, 0,193 et même 0,311 pour les grains des groupes 8, 5 et 9. Cela exprime une augmentation de 80 %, 188 %, 394 %, par rapport à la fluctuation normale.

La teneur en matière sèche et le rapport entre le poids de l'albumen et celui de l'embryon présentent des écarts encore plus accentués et varient dans des proportions tout à fait anormales.

La coexistence sur le même épi, et côte à côte, de grains lourds et légers, concentrés et aqueux, est un signe manifeste d'un développement défectueux, et le rapport anormal entre le poids de l'albumen et celui de l'embryon qui est caractéristique pour les grains des types 5-9 en est une preuve certaine.

Chez la graine-souche et les grains des types 1 à 4, le poids de l'embryon suit sensiblement le poids de l'albumen et à un gros grain correspond aussi un gros embryon. Chez la plupart des grains des autres groupes cette relation est beaucoup moins étroite et les grains les plus lourds possèdent quelquefois un embryon d'un poids minime. Ainsi, tandis que chez la semence-souche le rapport centésimal entre le poids de l'embryon et celui de l'albumen ne descend pas au-dessous de 17, 1 %, il s'abaisse chez les grains du type 8 à 9, 6 % et à 8, 5 % chez les grains du type 7.

La diminution de la densité, et de la teneur en matière sèche, la coloration pâle et le faible éclat indique, d'ailleurs, chez ces derniers grains, une mauvaise maturité. On en peut aussi juger par l'aspect de leurs coupes tangentielles.

Chez les grains de Maïs la matière amylacée, les Hydrates de Carbone, sont surtout, comme on le sait, localisés dans la partie de l'endosperme adjacente à l'embryon, tandis que la matière albuminoïde, glutineuse, occupe la périphérie de la graine. On voit très bien la séparation des 2 couches sur les coupes tangentielles, et si on compare les coupes des grains des différents types on constate que chez les grains des types 4 à 9 la matière amylacée occupe une

étendue beaucoup plus grande que chez les grains des types 1-4. La plus faible teneur en matière amylacée, chez ces derniers grains, a été d'ailleurs révélée par l'analyse chimique.

Or, l'augmentation de la teneur en matière amylacée chez les grains des céréales est considérée par les praticiens comme signe manifeste d'une maturité retardée, et a été démontrée expérimentalement.

En résumé, les grains des types 5-9 se distinguent de ceux des types 1-4 par une teneur en matière sèche et une densité plus faible, par une diminution du poids de l'embryon relatif à celui de l'albumen, et par une teneur en hydrate de Carbone plus riche. Ce sont des grains d'une qualité inférieure et dont la production dans les cultures n'est pas désirable.

Considérons, à présent, les grains, suivant les plantes qui les ont produits (Tableau IV).

Sur les 29 épis fournis par les 15 plantes témoins, 3 seulement sont garnis de grains de mauvaise qualité, tandis que 26 sont couverts de bons grains des types 1-4.

Les plantes issues des semences intoxiquées ont également produit des épis à bons grains, mais dans une proportion beaucoup moins forte et d'autant moins que l'intoxication fut plus énergique.

TABLEAU IV

PROVENANCE DES PLANTES		Nombre d'épis	TYPE DES GRAINS									% DES ÉPIS A GRAINS NORMAUX
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	
			FRÉQUENCE									
CuSO ⁴ (1% à 2%)	Grains blessés ..	27	1	4	2	—	5	—	11	4	—	25,9
	— mutilés...	31	—	8	—	3	—	9	9	—	2	35,5
	— extéguementés .	45	10	—	8	2	—	—	15	2	8	44,4
	— intacts ...	47	—	7	10	7	4	11	2	3	3	51
	Grains-témoins.....	29	13	6	4	3	—	3	—	—	—	89,6

Ainsi la proportion des épis garnis de bons grains n'est que de

25, 9 ° „ pour les plantes issues de grains blessés, tandis qu'elle est de 51 ° „ pour les plantes provenant des grains intacts, la durée du séjour dans la solution cuprique étant la même.

Si on compare les tableaux IV et II, on constate que le nombre des épis anormaux produits par les plantes issues des semences intoxiquées est plus petit que le nombre des épis à grains anormaux. Cela provient de ce que les mauvais grains ont pris naissance non seulement sur des épis ébréchés, courbés, androgynes etc., mais aussi sur des épis d'une conformation régulière, cylindrique et conique. Il n'y a pas de stricte relation entre la conformation de l'épi et la qualité des grains qui la garnissent et l'épi tout en conservant sa forme propre peut produire des grains déformés.

Il résulte donc de tout ce qui précède que le traitement cuivrique de la semence exerce une influence nuisible sur les caractères de la récolte. Les grains acquièrent des propriétés nouvelles et leur conformation s'avilit.

Les expériences de 1915 vont nous démontrer que le Cuivre a exercé une action encore plus profonde qu'on n'aurait pu le supposer, et que l'hérédité de la graine, la stabilité des caractères de la race en est influencée.

EXPÉRIENCES DE 1915

Nous nous sommes proposé :

- 1° De vérifier les expériences de 1914 ;
- 2° De rechercher si les variations présentées par l'épi se retrouvent sur la descendance ;
- 3° De rechercher si la répétition du traitement cuivrique sur les grains de la nouvelle génération est susceptible de provoquer des variations plus accentuées et plus régressives.

§ 4. — Expériences de contrôle.

Nous avons utilisé les grains du même échantillon dont nous nous sommes servis en 1914.

Des grains intacts ou blessés à dessein ont été gonflés pendant un temps variant de 12 heures à 72 heures dans des solutions aqueuses de CuSO_4 , de $\text{Cu (AzO}_3)_2$ ou de CuCl_2 électrolytiques et

semés dans des conditions identiques à celles de l'année précédente.

La récolte faite, nous avons constaté que le traitement cuivrique a de nouveau produit les mêmes effets et que les mêmes anomalies ont pris naissance.

Nous avons ainsi obtenu, pour la seconde fois, des épis ébréchés, courbés et androgynes.

De nouvelles anomalies se sont même montrées, et aux épis déformés, du type déjà connu, sont venus s'ajouter des *épis ramifiés* (3 spécimens) et de plus des épis à la fois *ramifiés et androgynes* (2 spécimens). Phot. 10 et 11.

TABLEAU V

NOMBRE DES PLANTES	PROVENANCE DES PLANTES	NATURE DU TOXIQUE	CONCENTRATION	DURÉE DE L'INTOXI- CATION	NOMBRE TOTAL DES ÉPIS	POURCENT. DES ÉPIS anormaux (1)	Pourcent. des épis à grains anormaux
5	Grains intacts	CuSO_4	1‰	6 ^h	14	28‰	36‰
5	—	—	—	12 ^h	12	34‰	34‰
5	—	—	—	24 ^h	15	40‰	47‰
5	—	—	—	48 ^h	13	46‰	54‰
5	—	—	—	72 ^h	14	57‰	57‰
5	Témoins				11	0‰	9‰
5	Grains blessés	—	—	6 ^h	10	40‰	40‰
5	—	—	—	12 ^h	10	50‰	60‰
5	—	—	—	24 ^h	8	50‰	62‰
5	—	—	—	48 ^h	9	44‰	55‰
5	—	—	—	72 ^h	10	50‰	50‰
5	Témoins				12	0‰	17‰
6	Grains blessés	CuSO_4	2‰	15 ^h	11	45‰	54‰
6	—	CuCl_2	—	—	12	50‰	50‰
6	—	$\text{Cu}(\text{AzO}_3)_2$	—	—	12	50‰	50‰
6	Grains intacts	CuCl_2	2‰	24 ^h	13	54‰	54‰
6	—	—	3‰	—	13	69‰	69‰
6	—	—	5‰	—	9	77‰	88‰

(1) Épis ébréchés, androgynes, courbés, ramifiés, androgynes et ramifiés à la fois,

Si on compare les résultats obtenus cette année à ceux obtenus précédemment, on constate que les plantes issues des grains traités ont montré une amplitude de variation plus étroite, puisqu'elles n'ont produit que 8 types d'épis, au lieu de 11 types produits dans les mêmes conditions en 1914 (Tableau II).

Mais, d'autre part, on constate que le nombre des épis déformés s'est quelque peu accru, et que la proportion des épis garnis de grains ayant une conformation régulière a sensiblement diminué.

Il semble donc que l'état spécial conféré à la plante par le traitement cuivrique de la semence dont elle est issue peut se manifester par des effets numériques ou qualitatifs, concomittants ou compensateurs. Ou il se développe chez la plante une puissance modificatrice très prononcée qui disjoint et éparpille les caractères de l'épi ou de la graine, créant ainsi des types divers et multiples, ou bien cette énergie modificatrice est moins accentuée et il apparaît alors des types plus uniformes, mais en plus grand nombre.

L'augmentation de la durée de l'intoxication à laquelle ont été soumis les grains et surtout les grains blessés n'a pas produit les effets auxquels on aurait pu s'attendre, et le même nombre d'épis déformés a été produit par des grains gonflés pendant 24 heures ou 72 heures.

Ainsi, en augmentant la durée de l'intoxication de 1 heure à 24 heures, on produit des effets régressifs et croissants, mais, au delà, l'action nocive du Cuivre semble s'atténuer, et la solution devenir moins active. Cela peut s'expliquer, car, quel que soit le mode d'action du Cuivre, soit qu'il agisse sur les diastases de germination, ou sur la matière albuminoïde en s'y combinant, soit qu'il exerce une action mécanique, en corrodant les tissus avec lesquels il se trouve en contact, il est logique d'admettre que cette action passe par un maximum qui, dans le cas des grains, coïncide certainement avec leur saturation ⁽¹⁾. On pourrait mettre le fait en évidence en suivant la marche de l'absorption. La saturation s'effectuant beaucoup plus lentement quand les tissus sont intacts, il est com-

(1) Le fait, que le pouvoir et la puissance germinatifs des grains, comme l'ont montré de nombreuses expériences, diminuent toujours avec l'augmentation de la durée de l'intoxication, peut être dû non seulement à l'action du toxique lui-même mais aussi à des actions secondaires (action de l'eau, actions d'échange et de pression).

préhensible que les grains non blessés soient plus sensibles à l'augmentation de la durée de l'intoxication que les grains blessés.

La quantité du Cuivre absorbée par la graine intacte est d'ailleurs minime, et celle-ci se concentre surtout dans le tégument même qui semble, chez les fruits des Graminées, être séparé de l'albumen par une membrane semiperméable ⁽¹⁾.

Le Cuivre localisé dans le tégument ne joue qu'un rôle très limité si l'évolution de la graine traitée a lieu dans le milieu naturel, le sol ; par des influences osmotiques le sel passe du tégument dans le substratum ambiant où il est neutralisé, et l'action pathogène n'est due qu'au Cuivre ayant passé dans l'albumen, ce qui explique que la même quantité de toxique provoque des effets beaucoup plus accentués chez les grains blessés ou mutilés que chez les grains intacts.

Le remplacement du CuSO_4 par le nitrate ou le chlorure, n'a pas produit des effets appréciables, ce qui indique une fois de plus que la toxicité des sels de Cuivre n'est due qu'aux ions Cu et non aux anions Cl, NO_3 , Cl etc.

Par contre, l'augmentation de la concentration de la solution toxique a provoqué une augmentation sensible du nombre d'épis déformés, et même une diminution de la puissance productive, puisque 6 plantes issues des grains ayant séjourné dans $\text{Cu (AzO}_3\text{)}^2$ à 5 % n'ont produit que 9 épis en tout. Des grains qui gonflent dans des solutions concentrées subissent non seulement l'action nocive du Cuivre mais aussi des actions secondaires de nature osmotique qui peuvent elles-mêmes être nuisibles, puisque même les sels inoffensifs en solutions étendues deviennent éminemment toxiques, lorsque celles-ci se concentrent.

§ 5. — Recherches sur la transmission héréditaire des variations de l'épi.

La conformation de l'épi, le nombre de rangées qui le garnissent, les qualités spécifiques de la graine sont des caractères héréditaires, transmissibles de génération en génération ⁽²⁾.

⁽¹⁾ BROWN. On the existence of a semipermeable membrane inclosing the seeds of some the Gramineae. (*Annals of Botany*, V. XXI, p. 79.)

⁽²⁾ G. FRUWIRTH. Die Züchtung d. landwirtschaftlichen Kulturpflanzen ; Körnicke. — Handbuch des Getreidebaues.

Il était donc important de rechercher si les variations provoquées chez les épis par suite de l'intoxication initiale de la graine sont accidentelles et passagères, ou si, au contraire, les caractères acquis se transmettent ou agissent d'une manière ou d'une autre sur l'hérédité.

Nous avons à cet effet enlevé sur chacun des types d'épis récoltés en 1914 une trentaine des grains moyens et les avons semés directement sur le terrain d'expérience. Voici les résultats obtenus :

a) *Épi cylindrique à 12 rangées parallèles, provenant d'une plante-témoin. Grains du type 1.*

Nombre des épis récoltés	Nombre total des plantes	TYPES DES ÉPIS RÉCOLTÉS			HÉRÉDITÉ POUR 100		
		Cylindr. à rangées parallèles	Cylindr. à rangées spiralées	Coniques	Confor- mation de l'épi	Epis à 12 rangées parallèles	Confor- mation de la graine
12	25	19	4	2	92	76	76

Pouvoir germinatif : 98. Levée 9-10 jours après le semis. Hauteur moyenne des plantes à la récolte : 2^m 70. Nombre d'entre-nœuds : 5-6. Tallage : 2-3 (1).

b) *Épi cylindrique à rangées spiralées et confondues, récolté sur une plante-témoin. Grains du type 3.*

Nombre des épis récoltés	Nombre total des plantes	TYPES DES ÉPIS RÉCOLTÉS			HÉRÉDITÉ POUR 100		
		Cylindr. à rangées spiralées	Cylindr. à rangées parallèles	Ebréchés	Confor- mation de l'épi	Disposit. spiralée des rangées	Confor- mation de la graine
12	27	16	9	4	96	59	85

Pouvoir germinatif : 100. Levée : 9-10 jours après le semis. Hauteur moyenne des plantes à la récolte : 2^m 60. Nombre d'entre-nœuds : 5-6. Tallage : 3.

(1) L'augmentation du tallage n'est pas recherchée chez le Maïs. Nous le mentionnons à titre de comparaison, puisque quelques plantes issues des épis ébréchés ou courbés n'ont pas donné de tallage du tout.

c) *Épi cylindrique à rangées spiralées et confondues, récolté sur une plante issue d'une graine mutilée, intoxiquée pendant 12 heures dans une solution de Cu SO⁴ à 1 ‰. Grain du type 5.*

Nombre des plantes	Nombre total des épis récoltés	TYPES DES ÉPIS				HÉRÉDITÉ POUR 100		
		Cyl. à rangées parallèles	Cyl. à rangées spiralées	Nains	Andro- gynes	Confor- mation de l'épi	Disposit. spiralée des rangées	Conform. de la graine
12	26	5	14	4	2	54	80	57

Pouvoir germinatif : 100. Levée : 11-12 jours après le semis. Hauteur moyenne des plantes à la récolte : 2^m 50. Nombre d'entrenœuds : 2. Tallage : 2.

d) *Épi androgyne présentant un axe terminal de 10 cm. de long couvert d'épillets mâles ; 2 gouttières prononcées. Grains du type 9.*

Nombre des plantes	Nombre total des épis récoltés	TYPES DES ÉPIS				HÉRÉDITÉ POUR 100	
		Cylindr. à rangées parallèles	Andro- gynes	Coniques	Ebréchés	Andro- gynie	Conform. de la graine
12	17	2	1	9	5	6	35

Pouvoir germinatif : 70. Levée : 13-16 jours après le semis. Hauteur moyenne des plantes à la récolte : 2^m 10 ; Nombre d'entrenœuds : 4 ; Tallage : 4.

e) *Épi ébréché à grains bombés.*

Nombre des plantes	Nombre total des épis récoltés	TYPES DES ÉPIS				HÉRÉDITÉ POUR 100	
		Ebréchés	Courbés	Coniques	Cylindr. à rangées spiralées	Ebrèche- ment	Confor- mation de la graine
12	12	4	2	4	10	21	32

Pouvoir germinatif : 65. Levée : 12 à 15 jours après le semis. Hauteur moyenne des plantes à la récolte 2^m 30. Nombre d'entrenœuds : 4. Tallage : 4.

f) *Épi courbé, grains du type 7, 8 rangées parallèles.*

Nombre des plantes	Nombre total des épis récoltés	TYPES DES ÉPIS			HÉRÉDITÉ POUR 100		
		Courbés	Nains	Cylindr. à rangées spirales	Confor- mation de l'épi	Epis à 8 rangées	Confor- mation de la graine
12	22	0	4	18	0	82	73

Pouvoir germinatif : 90. Levée 11-13 jours après le semis. Hauteur moyenne des plantes : 1^m 70. Nombre d'entre-nœuds : 3-4. Tallage : 1.

g) *Épi nain, grains du type 5.*

Nombre des plantes	Nombre total des épis récoltés	TYPES DES ÉPIS				HÉRÉDITÉ POUR 100	
		Cylindr. à rangées parallèles	Cylindr. à rangées spirales	Coniques	Nains	Confor- mation de l'épi	Confor- mation de la graine
12	18	6	5	7	0	0	50

Pouvoir germinatif : 60. Levée : 12-16 jours après le semis. Hauteur moyenne des plantes à la récolte : 1^m 85. Nombre d'entre-nœuds : 3-4. Tallage : 1.

h) *Épi torsionné, grains du type 5.*

Nombre des plantes	Nombre total des épis récoltés	TYPES DES ÉPIS			HÉRÉDITÉ POUR 100	
		Tor- sionnés	Cylindr. à rangées parallèles	Cylindr. à rangées spirales	Confor- mation de l'épi	Confor- mation de la graine
12	26	2	5	19	7	45

i) *Épi pyriforme, grains du type 6.*

Nombre des plantes	Nombre total des épis récoltés	TYPES DES ÉPIS			HÉRÉDITÉ POUR 100	
		Epis pyri- formes	Epis torsion- nés	Cylindr. à rangées spirales	Confor- mation de l'épi	Confor- mation des grains
12	14	1	2	11	7	50

Pouvoir germinatif : 80. Levée : 11-12 jours après les semis. Hauteur moyenne des plantes à la récolte : 2^m 30. Nombre d'entre-nœuds : 4-5. Tallage : 2-3.

Ces résultats sont suggestifs. On voit tout d'abord que les grains provenant des épis récoltés sur les plantes qui ne furent pas soumises à l'action du Cuivre reproduisent fidèlement et la conformation de l'épi (92 à 96 %), et leur conformation propre (76 à 85 %). Il en est ainsi avec les grains provenant des épis cylindriques à rangées parallèles ou à rangées spiralées (a, b).

Mais le même épi cylindrique à rangées spiralées, quand il provient d'une plante issue d'un grain intoxiqué, montre déjà une stabilité moindre, une puissance de transmission héréditaire affaiblie et le pourcentage des caractères reproduits tombe pour la conformation de l'épi à 54 % et pour celle de la graine à 57 % (c).

En remontant dans la série de déformations présentées par les épis (courbures, torsions, androgynies, etc.), on constate que certaines de ces anomalies ne se sont pas reproduites du tout (courbures, le caractère nain), et que d'autres se sont transmises à la descendance dans des proportions très limitées qui ne dépassent pas des possibilités d'ordre accidentel. Seul le caractère « ébréchement » a montré une certaine stabilité et sur 19 épis issus d'un grain d'un épi ébréché, 4 ont montré le caractère du parent (e).

Si on considère, à présent, les caractères propres de la graine, on constate que la conformation qui lui a été imprimée par suite de la variation de la structure de l'épi a une plus grande tendance à se transmettre que celle de l'épi. Mais quel que soit le type du grain que nous ayons isolé, nous avons constaté qu'il reproduit aussi facilement tous les autres, de sorte que la réapparition des caractères de la graine chez la descendance peut aussi bien être due à des actions héréditaires, qu'à des actions d'une nature toute différente.

Les caractères propres de l'épi, et ceux des grains qui le couvrent, s'enchainent et se superposent suivant des lois inconnues ; dans des conditions normales, à une telle forme de l'épi correspond une telle forme de la graine ; mais si, par des influences extérieures, l'état harmonieux ou l'équilibre est rompu, il se fait de nouvelles combinaisons, de nouveaux groupements et il se peut que la réapparition de la conformation de la graine chez la descendance ne soit que consécutive et corrélative à la variation de l'épi puisque, comme nous l'avons vu, des épis déformés variés peuvent être garnis de grains d'une conformation identique. Tout cela se rapporte, d'ail-

leurs, strictement à la conformation de la graine et non pas à ses qualités intrinsèques (densité, matière sèche, aspect des coupes, etc.) qui, elles, n'ont montré aucune aptitude à se transmettre et à se continuer chez la descendance.

Il en résulte donc que ce qui s'est plutôt transmis héréditairement, *ce ne sont pas les caractères de l'épi ou de la graine, mais la puissance modificatrice conférée à la plante-mère par suite de l'intoxication initiale de la graine dont elle est issue, la tendance à varier et à produire des formes nouvelles et multiples*, en partant d'un type unique.

Ainsi les grains provenant des épis androgynes ont produit des épis ébréchés, et les grains des épis courbés ont donné des épis nains ; les mêmes actions pathogéniques, provoquées chez la plante-mère, continuent à agir chez les plantes qui en descendent, dans le sens de ce qu'on a parfois appelé « *l'affolement du type* ».

Les résultats n'en sont pas moins intéressants. Si on considère, en effet, l'ensemble des épis obtenus, on constate que si les grains des épis déformés produisent des épis et des grains du type de leur race, ils produisent aussi à côté, et en plus grand nombre, des épis anormaux et défectueux, c'est-à-dire que la tendance à varier est nettement régressive et nuisible à l'avenir de la race.

La nature régressive des actions provoquées par le Cuivre est encore démontrée par le fait que les grains des épis anormaux ont une levée retardée et donnent des plantes moins hautes et moins vigoureuses.

§ 6. — Répétition du traitement cuivrique sur les grains des épis déformés.

Il s'agissait de rechercher si, en répétant le traitement cuivrique sur les grains des épis présentant des anomalies, c'est-à-dire en aidant les plantes qui devront en sortir à se mettre dans le même état pathologique que la plante qui a donné naissance à ces grains, on peut créer des conditions favorables à la culture de ces anomalies ou à l'apparition d'anomalies nouvelles.

Nous avons à cet effet opéré avec des grains des épis androgynes, courbés, cylindro-prismatiques et nains.

Les grains blessés à dessein ont été gonflés dans CuCl_2 à 2 %.

pendant 24 heures, semés sur couche et lorsque les plantules eurent atteint une hauteur moyenne de 30 cm. elles furent repiquées sur le terrain d'expériences.

L'étude a porté sur 48 plantes, à raison de 12 plantes pour chaque type d'épi. Voici les résultats :

TABLEAU VI

PROVENANCE DES PLANTES	NOMBRE D'ÉPIS RÉCOLTÉS	HÉRÉDITÉ POUR 100	ÉPIS MONTRANT DES ANOMALIES NOUVELLES	POURCENT. DES ÉPIS DÉFORMÉS
Epi androgyne :	18	0	1	33°/o
Epi nain :	19	0	0	10°/o ?
Epi cylindro- prismatique :	23	8	0	43°/o
Epi courbé :	22	0	2	45°/o

Donc, la réintoxication de la semence n'a provoqué ni une augmentation du nombre d'épis déformés (comparer avec les tableaux précédents) ni une plus grande amplitude à la variation et à la production des formes nouvelles.

Les 3 épis à anomalies nouvelles que nous mentionnons dans le tableau ci-dessus sont simplement des inflorescences terminales mâles présentant une métamorphose partielle des épillets mâles en grains ⁽¹⁾, monstruosité, d'ailleurs, très fréquente dans les cultures du Maïs.

Il est possible que des caractères latents aient pris naissance, caractères que l'on ne pourrait voir apparaître que par des cultures suivies et répétées.

Seul reste donc acquis le fait que l'intoxication de la semence crée des conditions favorables à l'apparition des types aberrants et de nature régressive.

⁽¹⁾ Les 3 rameaux sont d'ailleurs charbonneux, ce qui laisse un doute sur la cause de l'anomalie.

RÉSUMÉ ET CONCLUSION

Les expériences de 1914 ont montré que l'intoxication du grain de Maïs par les sels de Cuivre détermine les effets suivants :

- 1) La puissance germinative des grains traités est affaiblie ;
- 2) Les jeunes plantules issues de ces grains manifestent souvent leur intoxication par une altération chlorophyllienne se traduisant par l'apparition sur les feuilles d'une raie bleuâtre ;
- 3) Le développement végétatif de ces plantes est ralenti et la floraison par suite retardée ;
- 4) L'intoxication de la semence est susceptible de conférer à la plante qui en est issue des aptitudes spéciales, des tendances à varier, qui se manifestent par l'apparition d'épis anormaux qui, par leurs caractères propres et par ceux des grains qui les garnissent s'éloignent du type de leur race ;

5) Ces caractères nouveaux sont défectueux et régressifs, et les effets nuisibles croissent avec l'augmentation du degré de l'intoxication à laquelle la graine a été soumise : augmentation de la durée de l'intoxication, contact plus intime du toxique et de l'albumen par suite des mutilations préalables.

Les expériences de 1915 ont fourni en outre les conclusions complémentaires suivantes :

- 6) Les différents sels de Cuivre produisent le même effet ;
- 7) La plante produit d'autant plus facilement des épis anormaux, que la graine dont elle est issue a séjourné dans des solutions cuivriques plus concentrées ;
- 8) Le Cuivre ne provoque pas des effets précis, et les grains traités d'une manière identique peuvent donner naissance à des anomalies différentes ;
- 9) La tendance à varier conférée à la plante par l'intoxication de la graine peut se traduire par des effets numériques ou qualitatifs, par l'apparition d'anomalies multiples, ou plus uniformes, mais en plus grand nombre ;

10) Les caractères nouveaux acquis par l'épi et la graine sont peu stables, et semblent ne pas réapparaître chez leur descendance ;

11) Les grains ont fixé la tendance à varier conférée à la plante-mère, et produisent eux-mêmes des épis aberrants et régressifs.

CONSEQUENCES PRATIQUES. — A) Le traitement cuivrique employé en Agriculture pour préserver la semence contre l'attaque des cryptogames peut faire apparaître des influences accessoires et nuisibles. Les caractères spécifiques des races cultivées peuvent, sous ces influences, s'éparpiller, et se modifier dans un sens peu désirable. L'avilissement des races locales des céréales, dont se sont si souvent plaint les agriculteurs, durant ces dernières années, peut, dans une certaine mesure, avoir en partie son origine dans le traitement anti-cryptogamique, et celui-ci peut devenir un obstacle sérieux pour l'amélioration et la sélection des caractères recherchés. Il est même possible que des intoxications chimiques puissent produire des effets plus profonds et plus durables que ceux qu'ont donné nos expériences, et que l'intoxication ou l'évolution dans un milieu chimique non accoutumé eût pu être la cause de l'apparition de types aberrants ou de monstruosité déjà connues.

B) Nous démontrons ainsi que, par des influences chimiques particulières et graduées, accessibles facilement à l'expérimentation, on peut espérer contribuer à l'étude des facteurs naturels d'évolution, et peut-être aussi au mécanisme de la variation de la race.

Peu importe qu'il s'agisse ici d'actions pathogéniques, puisque nous ignorons si celles-ci ne peuvent être elles aussi causes directes ou indirectes de variation et d'évolution des espèces ou des formes végétales.

TABLE DES MATIÈRES

	Pages
Introduction. Plan	9
Matériaux d'étude : graines et sels de Cuivre	10

PREMIÈRE PARTIE

Action des sels de Cuivre sur la germination.

CHAPITRE I

§ 1. — Sensibilité comparée à l'action des sels de Cuivre des semences d'espèces différentes	13
§ 2. — Influence de la race ou de la variété dans la résis- tance de la semence au Cuivre	15
§ 3. — Sur l'influence des enveloppes protectrices, glumes et péricarpes, dans la résistance de la semence vis-à-vis du Cuivre	22
§ 4. — Sur la sensibilité des embryons vis-à-vis des sels de Cuivre et sur le rôle des téguments séminaux	32
§ 5. — Sur le rôle des blessures et des mutilations dans la résistance de la semence à l'action du Cui- vre	41
§ 6. — Autres facteurs influençant la sensibilité de la graine vis-à-vis du Cuivre :	
Gonflement préalable	48
Dessèchement préalable	50
Conservation de la graine après le traitement	51
Traitement gradué et discontinu	52
Moisissures	53

CHAPITRE II

§ 7. — Action du milieu de culture sur la germination des semences traitées au Cuivre	54
--	----

	Pages
§ 8. — Sur le rôle de la température de la solution dans le traitement cuivrique de la semence	56
§ 9. — Sur le rôle de la concentration de la solution toxique et la durée de l'intoxication	59
§ 10. — Comparaison entre les actions de différents sels de Cuivre	62
§ 11. — Mode d'action des sels de Cuivre	65
Conclusions	68

DEUXIÈME PARTIE

Influence de l'intoxication cuprique sur le Maïs en végétation et sur sa descendance.

EXPÉRIENCES DE 1914	71
§ 1. — Caractères végétatifs	72
§ 2. — Etude des épis	77
§ 3. — Etude des grains	84
EXPÉRIENCES DE 1915	89
§ 4. — Expériences de contrôle	89
§ 5. — Recherches sur la transmission héréditaire des variations de l'épi	92
§ 6. — Répétition du traitement cuivrique sur les grains des épis déformés	97
Résumé et Conclusions. Conséquences pratiques	99
Photographies des épis de Maïs issus des grains traités par des sels de Cuivre : 3 planches hors texte.	

En terminant l'exposé de nos recherches, qu'il nous soit permis de remercier ici tous ceux qui, d'une façon ou d'une autre, nous ont aidé à mener à bonne fin nos recherches expérimentales ou bibliographiques.

Nous remercions particulièrement M. le Professeur E. GAIN, notre président de thèse, à qui nous devons le sujet du présent travail et sa direction. Il nous a accordé bien des facilités en mettant à notre disposition le Laboratoire de Botanique, le terrain d'expériences de l'Institut Agricole, ainsi qu'un emplacement pour nos cultures dans le Jardin Botanique de Nancy, de 1912 à 1915.

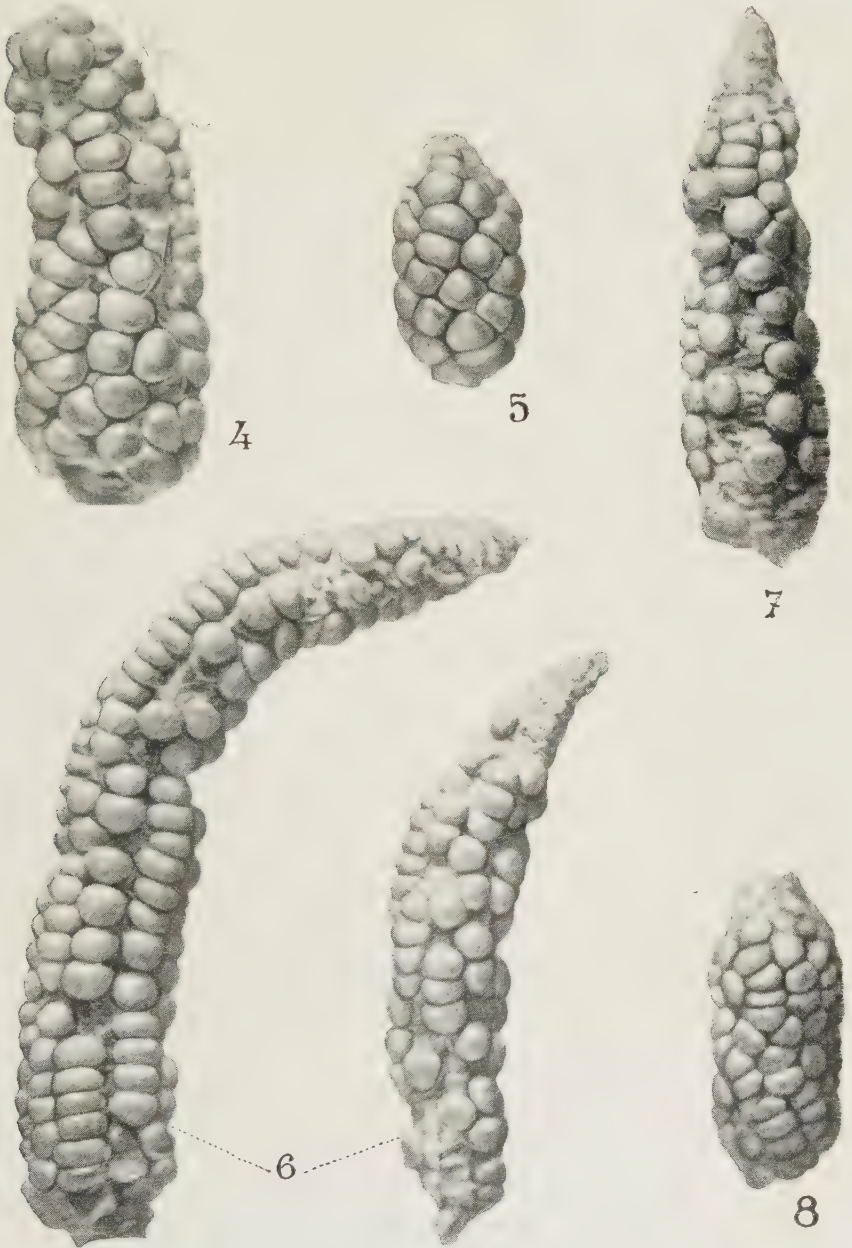
Nous adressons aussi nos vifs remerciements à M. MINGUIN, Professeur à l'Institut Chimique, et à M. BOUIN, Professeur à la Faculté des Sciences, pour leur aide bienveillante et l'amabilité avec laquelle ils ont mis à notre disposition le matériel de leurs laboratoires.



JUNGELSON Phot.

BERTIN et C^{ie} sc.

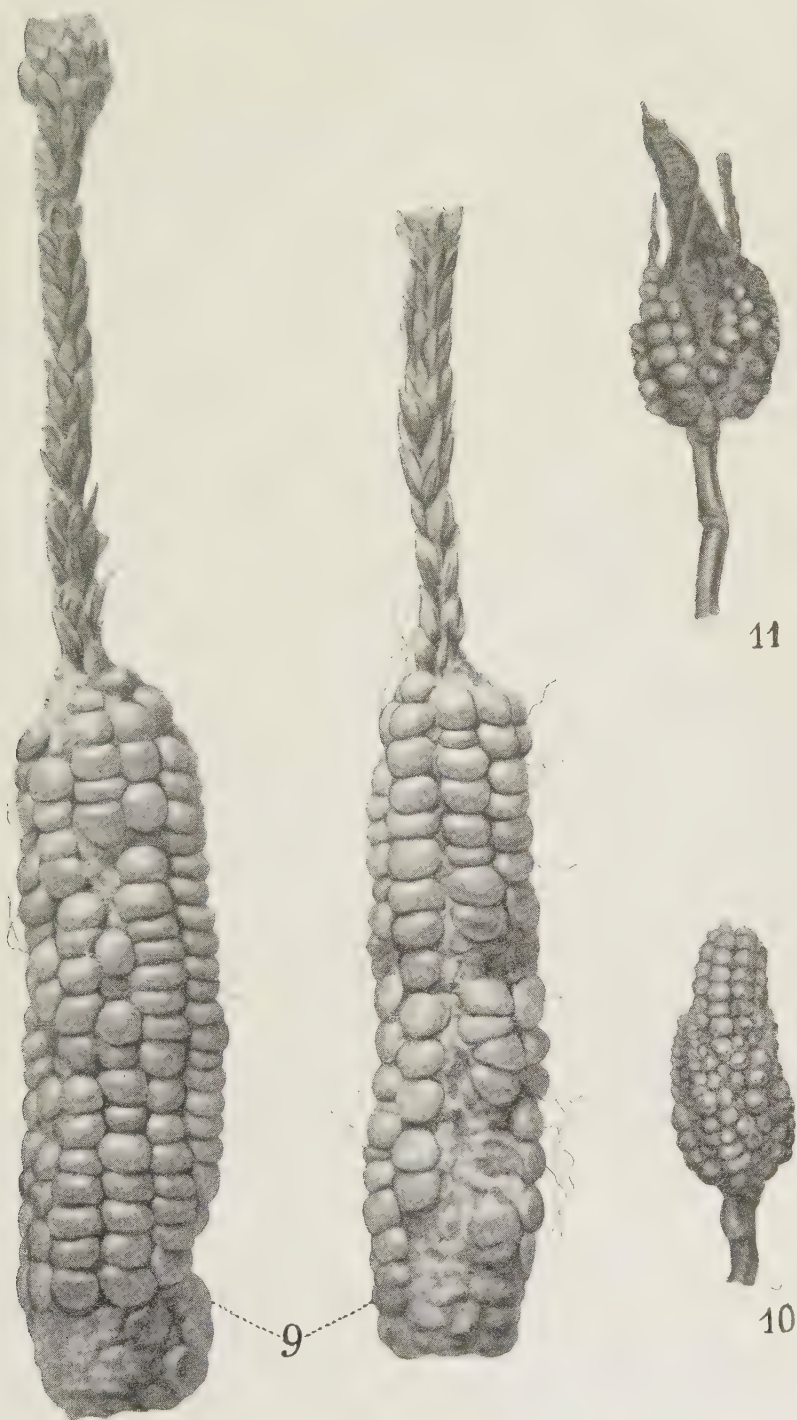
Influence de l'intoxication cuprique sur le Mais. — I.



JUNGELSON Phot.

BERTIN et C^{ie} sc.

Influence de l'intoxication cuprique sur le Maïs. — II.



JUNGELSON Phot.

BERTIN et C^{ie} SC.

Influence de l'intoxication cuprique sur le Maïs — III.

DEUXIÈME THÈSE

PROPOSITIONS DONNÉES PAR LA FACULTÉ

I. — Sur le rôle du Phosphore dans la végétation.

II. — Les diastases de la germination.

Vu et approuvé :

Nancy, le 16 Avril 1917.

Le Doyen de la Faculté des Sciences,

G. FLOQUET

Vu et permis d'imprimer :

Nancy, le 17 Avril 1917.

Le Recteur de l'Académie de Nancy,

L. ADAM.

NEMOURS. — IMPRIMERIE NEMOURIENNE, HENRI BOULOY.



NEMOURS

Imprimerie Nemourienne

Henri BOULOY

